



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM141585

**STUDI TENTANG KEKUATAN DAN KEKAKUAN
STRUKTUR *LASER CARRIER* DAN *TABLE* PADA MESIN
FIBER LASER CUTTING AKIBAT BEBAN STATIS DAN
DINAMIS**

MAYLANA IKHWAN
NRP. 02111140000112

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Agus Sigit Pramono. DEA

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR- TM141585

**STUDI TENTANG KEKUATAN DAN KEKAKUAN
STRUKTUR *LASER CARRIER* DAN *TABLE* PADA MESIN
FIBER LASER CUTTING AKIBAT BEBAN STATIS DAN
DINAMIS**

**MAYLANA IKHWAN
NRP 02111140000112**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Agus Sigit Pramono. DEA**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**



FINAL PROJECT - TM141585

***STUDY ABOUT STRENGTH AND STIFFNESS OF
LASER CARRIER AND TABLE STRUCTURE ON
FIBER LASER CUTTING MACHINE BECAUSE OF
DYNAMIC AND STATIC LOADS***

MAYLANA IKHWAN
NRP. 02111140000112

Advisor Lecture
Dr. Ir. Agus Sigit Pramono. DEA

*Mechanical Engineering Department
Faculty of Industrial Technology
Surabaya Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2018*

**STUDI TENTANG KEKUATAN DAN KEKAKUAN
STRUKTUR MESIN *FIBER LASER CUTTING* AKIBAT
BEBAN STATIS DAN DINAMIS**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MAYLANA IKHWAN

NRP. 02111140000112

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Agus Sigit Pramono, DEA..... (Pembimbing)
NIP. 196508101991021001
2. Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc.E (Penguji I)
NIP. 196511031990021001
3. Alief Wikarta, ST., M.Sc.Eng, Ph.D (Penguji II)
NIP. 198202102006041002
4. Ir. Julendra B. Ariatedja, MT (Penguji III)
NIP. 196807061999031004

SURABAYA

JANUARI, 2018

STUDI TENTANG KEKUATAN DAN KEKAKUAN STRUKTUR *LASER CARRIER* DAN *TABLE* PADA MESIN *FIBER LASER CUTTING* AKIBAT BEBAN STATIS DAN DINAMIS

Nama Mahasiswa : MAYLANA IKHWAN
NRP : 2111140000112
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Agus Sigit Pramono. DEA

Abstrak

Perkembangan industri manufaktur terutama proses pemotongan plat, kecepatan dan keakurasian sangat penting untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Sehingga perkembangan teknologi pada mesin-mesin pemotong plat akan sangat dibutuhkan untuk mencapai efisiensi waktu dan keakurasian yang tinggi khususnya untuk proses pemotongan komponen dengan bentuk yang rumit. Di Negara yang sudah beranjak maju, perkembangan mesin pemotong plat sudah berkembang pesat, salah satu teknologinya adalah mesin CNC *Fiber Laser Cutting Machine* di China. Di Indonesia sendiri kini sedang mengembangkan teknologi ini. Oleh karena itu tugas akhir ini bertujuan untuk melakukan studi tentang teknologi mesin CNC *Fiber Laser Cutting Machine*. Tugas akhir ini, akan membahas tentang *Laser Cutting Machine* dimana tujuannya adalah untuk mencari kekuatan dan kekakuan ketika menerima beban statis dan ketika menerima beban dinamis akibat perubahan kecepatan dari bagian *laser carrier*. Serta mengevaluasi kemampuan *laser carrier* dan *laser table* dalam menerima pembebanan statis dan beban dinamis dengan menggunakan metode numerik. Tujuan tersebut diambil dikarenakan belum adanya referensi yang menyatakan keakurasian atau akibat deformasi yang terjadi akibat mesin *laser fiber* ketika bekerja.

Tugas akhir ini didahului dengan Studi literatur pada berbagai sumber dan pengumpulan data teknis *Fiber laser cutting*. Selanjutnya dilakukan proses pemodelan dari struktur *laser table* dengan menggunakan *software CAD*. *laser table* tersebut akan dibebani dengan beban vertikal akibat gaya berat dan beban horisontal akibat perubahan kecepatan dari *laser carrier*. Beban perubahan kecepatan itu sendiri memiliki variasi kecepatan yaitu dari 0 sampai 72 m/menit dan sebaliknya. Penelitian ini menggunakan metode numerik dengan membagi struktur *laser carrier* dan *table* menjadi elemen-elemen yang terhingga jumlahnya (*finite element*). Selanjutnya menentukan *boundary condition* seperti tumpuan, koefisien gesek, properti material, dan posisi beban sudah diatur pada posisi masing – masing. Hasil penelitian tersebut dinyatakan berhasil jika desain *laser table* mampu menerima beban statis maupun perubahan kecepatan dari *laser carrier* dan mendapatkan hasil deformasi dibawah dari parameter yang telah ditentukan.

Dari tugas akhir ini, hasil yang didapatkan adalah deformasi maksimal yang terjadi dari beban statis akibat gaya berat dan beban dinamis yang dihasilkan dari *laser carrier* terhadap pemodelan *laser table* yaitu sebesar 0,02488 mm pada perlambatan $-0,276 \text{ m/s}^2$, nilai tersebut masih lebih kecil daripada parameter yang ditentukan yaitu 0,0254 mm. Nilai deformasi maksimal pada saat menggunakan *table* lebih besar apabila dibandingkan dengan tanpa menggunakan *table*, hal tersebut dikarenakan adanya deformasi yang mempengaruhi *laser carrier* akibat gaya gesek dari kontak yang terjadi antara *laser carrier* dan *table*. Selain itu hasil kekuatan dari pemodelan *laser tabel* didapatkan struktur yang mampu menerima beban statis maupun beban dinamis dengan nilai *safety factor* sebesar 15.

Kata kunci : Mesin *fiber laser cutting*, Kekuatan, Kekakuan, Statis, Dinamis, Metode numerik

STUDY ABOUT STRENGTH AND STIFFNESS OF LASER CARRIER AND TABLE STRUCTURE ON FIBER LASER CUTTING MACHINE BECAUSE OF DYNAMIC AND STATIC LOADS.

Student Name : MAYLANA IKHWAN
NRP : 2111140000112
Majors : Mechanical Engineering FTI-ITS
Counsellor : Dr. Ir. Agus Sigit Pramono. DEA

Abstract

Development of manufacture industry especially on cutting plate process, speed and accuracy are most important to get maximum result. So as The development of technology on the cutting plate machine will be required to reach high efficiency and accuracy, especially for cutting part process with complexity form. In One of the developing countries, The Development of technology itself already highly evolved, And one of the technology is the CNC Fiber Laser Cutting Machine On China. And Indonesian is developing this technology itself. Therefore, This final project's intend for researching on those technology. It will discuss the Laser Cutting Machine where the purposes are looking for the strength and stiffness when it takes statics and dynamics load from transformation speed of laser carrier part. And It's evaluating The Capabilities of laser carrier and laser table to take some statics and dynamics loads using numerical method. Those objection was choosen because of there are no references yet, said the accuracy or the deformation impact which happening when The Laser Fiber works.

These final assignment's started by literature research on many sources and accumulation of Fiber Laser Cutting technically data. Furthermore, it will do the Laser Table structure modelling process using the CAD Software. It will be loaded by vertical loads from heavy energies and horizontal loads which caused by The

transformations speed of Laser Carrier. The transformations speed load itself has speed variations, that is : from 0 until 72 m/min and conversely. These Study's using the numerical method in the manner of splitting Laser Carrier and Table structure into the amount of finite elements. And the next is imposing the boundary condition like an aim, swipe coefficient, Materials property, and the load position which arranged in its positions. The result of observation will be succeed if the design of Laser Table can take static loads or the speed transformations based on the Laser Carrier and get the deformation result under the standard parameter.

Based on these final assignment, The result of maximum deformation from the static loads caused by heavy energies and dynamic loads from Laser Carrier to Laser Table modelling is in the mount of 0,02488 mm on retardation $-0,276 \text{ m/s}^2$, those percentage still smaller than the standard parameter 0,0254 mm. Maximum deformation value when using Table is bigger when compared without using Table, those thing happen because of the deformation's affecting the Laser Carrier caused by swipe energies from the contiguity between Laser Carrier and Table. Furthermore, The strenght result of Laser Table modelling obtained the structure's which can take static loads or dynamic loads with safety factor's 15.

Keywords : Fiber Laser Cutting machine, Strenght, Stiffness, Static, Dynamic, Numerical Method.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Laporan Tugas Akhir ini disusun sesuai dengan bidang studi Desain pada laboratorium mekanika benda padat dengan judul studi tentang kekuatan dan kekakuan struktur *laser carrier* dan *table* pada mesin *fiber laser cutting* akibat beban statis dan dinamis. Penulis juga tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir
2. Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc.E., Alief Wikarta, S.T., M.Sc., Phd., Ir. Julendra B. Ariatedja, MT., selaku dosen penguji Seminar dan Sidang Tugas Akhir.
3. Putu Suwarta, ST., M.Sc., Wahyu Wijanarko, ST., M.Sc., dan Ary Bachtiar Krishna Putra, ST., MT., Ph.D, selaku dosen wali selama kuliah di Teknik Mesin ITS.
4. Keluarga penulis yang senantiasa memberikan motivasi dan memberi dukungan penuh selama perjalanan hidup penulis.
5. Segenap Dosen dan Karyawan ITS yang telah mendidik dengan sepenuh hati.
6. Teman-teman mahasiswa Teknik Mesin ITS terutama M54 selaku angkatan penulis yang telah memberikan dukungan, motivasi dan pembelajaran selama kuliah di Teknik Mesin ITS.
7. Teman-teman warkop stadion ngagel yang telah memberikan dukungan dan motivasi.
8. Semua pihak yang telah membantu atas terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu mata kuliah wajib yang harus ditempuh oleh mahasiswa Teknik Mesin FTI-ITS agar memenuhi syarat kelulusan. Penulis menyadari laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan laporan Tugas Akhir ini. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat.

Surabaya, 22 Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

Abstrak	i
Abstract	iii
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Rumusan Masalah	3
I.3. Batasan Masalah	4
I.4. Tujuan Penelitian	4
I.5. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
II.1. Perkembangan Teknologi <i>Cutting Machine</i>	7
II.1.1. Gunting	8
II.1.1.1. Gunting tangan	8
II.1.1.2. Gunting tuas	9
II.1.2. Mesin gullotine	9
II.1.3. Mesin potong hidrolis	10
II.1.4. <i>Laser beam machine</i>	11
II.1.4.1. <i>CO₂ Laser</i>	11
II.1.4.2. <i>Fiber Laser</i>	12
II.2. Teori Kegagalan	15
II.3. Teori Defleksi	17
II.4. <i>Finite Elemen Analysis (FEA)</i>	19
II.4.1. Elemen Satu Dimensi	21
II.4.2. Elemen Dua Dimensi	22
II.4.3. Elemen Tiga Dimensi	22
II.5. Teori gerak Lurus Berubah Beraturan	23
II.6. Hukum Newton	24
II.6.1. Hukum Newton I	24
II.6.2. Hukum Newton II	24
II.6.3. Gaya Gesek	25

II.7. Studi Literatur.....	26
BAB III METODOLOGI PERCOBAAN	33
III.1. Diagram Alir Pengujian	33
III.2. Proses Pengujian	34
III.2.1. Studi literatu	35
III.2.2. Pemodelan	36
III.2.3. <i>Meshing</i>	38
III.2.4. <i>Boundary condition</i>	39
III.2.5. Simulasi.....	40
III.2.5.1. Simulasi statis	41
III.2.5.2. Simulasi dinamis	41
III.2.5.2.1. Pembebanan akibat percepatan	42
III.2.5.2.2. Pembebanan akibat perlambatan.....	43
III.2.6. Validasi hasil simulasi.....	44
BAB IV HASIL DAN ANALISA	45
IV.1. Hasil Pemodelan	45
IV.1.1. <i>Laser carrier</i>	45
IV.1.2. <i>Laser table</i>	46
IV.2. Simulasi statis	47
IV.2.1. Boundary condition pada simulasi statis.....	47
IV.2.2. Hasil simulasi stastis	48
IV.2.3. Analisa data simulasi statis	50
IV.3. Simulasi dinamis.....	51
IV.3.1. Boundary condition pada simulasi dinamis	51
IV.3.2. Hasil simulasi dinamis	55
IV.3.3. Analisa data simulasi dinamis.....	61
IV.3.3.1. Deformasi arah z pada beban percepatan.....	62
IV.3.3.2. Deformasi arah z pada beban perlambatan	63
IV.3.3.3. Deformasi total pada beban percepatan	64
IV.3.3.4. Deformasi total pada beban perlambatan.....	66
IV.3.3.5. <i>Equivalen stress</i> pada beban percepatan	67
IV.3.3.6. <i>equivalen stress</i> pada beban perlambatan	68
IV.3.3.7. <i>equivalen stress</i> dan deformasi pada bagian <i>table</i>	69
IV.3.4. Analisa perbandingan kondisi <i>table</i>	70

BAB V KESIMPULAN	73
V.1. Kesimpulan	73
V.2. Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN	77
BIOGRAFI PENULIS	87

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip pemotongan gunting tangan ^[1]	8
Gambar 2.2 Contoh pemotongan plat menggunakan gunting tangan ^[1]	8
Gambar 2.3 Bagian-bagian gunting tuas ^[1]	9
Gambar 2.4 Skema pemotongan dengan mesin guillotine manual ^[1]	10
Gambar 2.5 mesin potong hidrolik ^[1]	10
Gambar 2.6 Hasil pemotongan plat dengan LBM ^[2]	11
Gambar 2.7 Skema CO ₂ laser ^[3]	12
Gambar 2.8 Skema fiber laser ^[2]	13
Gambar 2.9 Tegangan normal tarik pada silinder ^[5]	15
Gambar 2.10 Tegangan normal tekan pada silinder ^[5]	16
Gambar 2.11 Tensor tegangan tiga dimensi ^[5]	16
Gambar 2.12 Defleksi pada beam ^[6]	18
Gambar 2.13 momen dan gaya yang bekerja pada beam ^[6] ...	18
Gambar 2.14 <i>Free body diagram</i> batang ^[8]	20
Gambar 2.15 Elemen 1 dimensi, a. Kubik b. Kuadratik c. Linier ^[8]	21
Gambar 2.16 Elemen 2 dimensi segitiga dan segiempat ^[8]	22
Gambar 2.17 Elemen 3 dimensi <i>tetrahedron</i> dan balok ^[8]	22
Gambar 2.18 Elemen <i>tetrahedron</i> ^[9]	23
Gambar 2.19 Gaya gesek ^[10]	25
Gambar 2.20 <i>Cutting speed</i> maksimal dan detail kecepatan makan pada plat 6-10 mm ^[13]	27
Gambar 2.21 Area celah pemotongan dan <i>efisiensi thermal</i> pada <i>fiber</i> dan <i>co2 laser</i> ^[13]	27
Gambar 2.22 Kekasaran rata-rata dari hasil pemotongan <i>fiber</i> dan <i>co2 laser</i> ^[13]	27
Gambar 2.23 Desain pemodelan <i>Laser carrier</i> dan <i>Laser box</i> ^[12]	28
Gambar 2.24 Posisi <i>probe</i> 1 pada <i>laser carrier</i> ^[12]	29
Gambar 2.25 Posisi <i>probe</i> 2 pada <i>laser carrier</i> ^[12]	29
Gambar 2.26 Posisi <i>probe</i> 3 pada <i>laser carrier</i> ^[12]	29

Gambar 2.27 Posisi tumpuan (<i>fixed support</i>) dari desain <i>laser carrier</i> ^[12]	30
Gambar 2.18 Grafik <i>Mesh convergent test</i> pada jumlah elemen tertentu ^[13]	31
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengujian	34
Gambar 3.2 Mesin CNC Mars-JLM 3015	35
Gambar 3.3 Struktur dasar crane laser box mesin CNC Mars-JLM 3015	35
Gambar 3.4 Struktur <i>main table</i> mesin CNC Mars-JLM 3015	36
Gambar 3.5 tabel spesifikasi teknis mesin CNC Mars-JLM 3015	36
Gambar 3.6 Gambar pemodelan bagian <i>laser carrier</i>	37
Gambar 3.7 Gambar pemodelan bagian <i>laser table</i>	37
Gambar 3.8 Gambar pemodelan kontak dari <i>assembly laser carrier</i> dengan <i>laser table</i>	38
Gambar 3.9 Gambar meshing pada <i>software ANSYS</i>	38
Gambar 3.10 Tabel <i>Properties material</i> dari <i>steel</i>	39
Gambar 3.11 Tabel <i>Properties material</i> dari <i>aluminium</i>	40
Gambar 3.12 Posisi tumpuan pada kaki bagian <i>table</i>	40
Gambar 3.13 Gambar beban statis yang diterima bagian <i>laser tabel</i>	41
Gambar 3.14 Gambar beban percepatan yang diterima bagian <i>laser tabel</i>	42
Gambar 3.15 Gambar beban perlambatan yang diterima bagian <i>laser tabel</i>	43
Gambar 4.1 Gambar, dimensi, dan <i>properties</i> bagian <i>laser carrier</i>	46
Gambar 4.2 Gambar, dimensi, dan <i>properties</i> bagian <i>laser table</i>	46
Gambar 4.3 Gambar <i>Boundary condition</i> pada simulasi statis	47
Gambar 4.4 Gambar posisi probe 1 pada simulasi statis	48
Gambar 4.5 Gambar hasil simulasi statis dengan ukuran	

<i>meshing</i> 5 cm.....	49
Gambar 4.6 Gambar hasil simulasi statis dengan ukuran <i>meshing</i> 7,5 cm.....	49
Gambar 4.7 Gambar Perbandingan jumlah <i>elemen table</i> dan <i>equivalen stress</i>	50
Gambar 4.8 Gambar <i>Boundary condition</i> pada simulasi dinamis	52
Gambar 4.9 Gambar posisi kecepatan pada bagian crane.....	52
Gambar 4.10 Gambar posisi probe 1, probe 2, dan probe 3 ..	52
Gambar 4.11 Gambar deformasi pada <i>mesin laser cutting</i>	55
Gambar 4.12 Gambar deformasi pada bagian <i>laser carrier</i> ..	56
Gambar 4.13 Gambar deformasi pada bagian <i>laser table</i>	56
Gambar 4.14 Gambar <i>equivalen stress</i> pada mesin <i>laser cutting</i>	56
Gambar 4.15 Gambar <i>equivalen stress</i> pada bagian <i>laser carrier</i>	57
Gambar 4.16 Gambar <i>equivalen stress</i> pada bagian <i>laser table</i>	57
Gambar 4.17 Gambar tampak atas deformasi pada bagian <i>carrier</i>	61
Gambar 4.18 Gambar grafik deformasi z beban percepatan..	62
Gambar 4.19 Grafik deformasi z beban perlambatan	63
Gambar 4.20 Grafik deformasi total beban percepatan	65
Gambar 4.21 Grafik deformasi total beban perlambatan	66
Gambar 4.22 Grafik <i>equivalen stress</i> beban percepatan.....	67
Gambar 4.23 Grafik <i>equivalen stress</i> beban perlambatan	68
Gambar 4.24 Grafik perbandingan kondisi <i>table</i>	71
Gambar 1. Gambar teknik <i>laser carrier</i>	77
Gambar 2. Gambar teknik bagian 1 <i>laser carrier</i>	78
Gambar 3. Gambar teknik bagian 2 penyangga <i>laser carrier</i>	79
Gambar 4. Gambar teknik <i>laser table</i>	80
Gambar 5. Gambar teknik bagian 1 <i>laser table</i>	81
Gambar 6. Gambar teknik bagian 2 <i>laser table</i>	82
Gambar 7. Gambar teknik bagian 3 <i>laser table</i>	83

Gambar 8.	Gambar teknik bagian 4 <i>laser table</i>	84
Gambar 9.	Gambar teknik bagian 5 <i>laser table</i>	85

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tabel perbandingan setiap mesin potong	13
Tabel 2.2	Table parameter Fiber laser dan CO ₂ laser ^[11]	26
Tabel 3.1	Tabel hasil simulasi akibat beban akselerasi	42
Tabel 3.2	Tabel hasil simulasi akibat beban pengereman	43
Tabel 4.1	Tabel hasil <i>meshing</i> simulasi statis.....	48
Tabel 4.2	Tabel variasi beban percepatan.....	54
Tabel 4.3	Tabel variasi beban perlambatan	55
Tabel 4.4	Tabel hasil probe 1 akibat beban percepatan	57
Tabel 4.5	Tabel hasil probe 1 akibat beban perlambatan	58
Tabel 4.6.	Tabel hasil probe 2 akibat beban percepatan	58
Tabel 4.7	Tabel hasil probe 2 akibat beban perlambatan	59
Tabel 4.8	Tabel hasil probe 3 akibat beban percepatan	59
Tabel 4.9	Tabel hasil probe 3 akibat beban perlambatan	60
Tabel 4.10	Tabel deformasi dan von misses bagian <i>table</i>	70
Tabel 4.11	Tabel hasil <i>table</i> untuk Deformasi z maksimal	71

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Dalam dunia industri terutama dalam industri manufaktur banyak perkembangan teknologi yang mendukung proses pengerjaan yang lebih baik. Proses pengerjaan yang baik disini kita definisikan sebagai pengerjaan dengan akurasi dan produktifitas yang tinggi. Begitu juga dengan teknologi potong atau *cutting machine*, sudah banyak teknologi yang berkembang.

Perkembangan teknologi dari *cutting machine* mulai dari pemotongan dengan peralatan tangan, mesin gullotine, mesin hidrolik, dan mesin laser. Berdasarkan modul pemotongan plat^[1] perkembangan teknologi yang sudah ada, bisa dilakukan perbandingan beberapa teknologi yang memiliki 1 kali proses pemotongan. Yang pertama adalah sitem manual dengan tenaga manusia, dimana keakurasian pemotongan tidak dapat diukur dikarenakan pemotongan secara manual. Proses pemotongan dengan manual yaitu dengan menggunakan gunting tangan dan gunting tuas, dimana tebal plat yang bias dipotong bias mencapai 0.8 mm menggunakan gunting tangan dan 3 mm menggunakan gunting tuas.

Perkembangan selanjutnya mengarah pada keakurasian yang lebih tinggi tetapi tidak ada literatur yang bisa menyebutkan keakurasian alat potong ini. Alat potong selanjutnya adalah mesin *gillotine* dimana alat ini dibagi menjadi 2 yaitu mesin *gillotine* manual dan *gillotine* hidrolik. Untuk mesin *gillotine* manual menggunakan tenaga kaki manusia, dan tebal yang bisa dipotong mencapai 6 mm. jika menggunakan mesin *gullotine* hidrolik, tebal plat yang bisa dipotong mencapai 12 mm. pengerjaan menggunakan mesin *gullotine* bisa lebih lurus tetapi tidak bisa melakukan pemotongan dengan motif yang lain seperti menyudut. Dan ada satu mesin pemotong juga yang disebut mesin hidrolik, dengan system yang hampir sama dengan mesin *gullotine* hidrolik,

tetapi kelebihan mesin hidrolik ini adalah adanya komponen tambahan yaitu *panel box control hydrolic* dimana pengerjaan bisa lebih mudah. Dan untuk ketebalan material yang bias dipotong oleh mesin hidrolik adalah mencapai 20 mm.

Untuk teknologi terkini yang paling banyak digunakan oleh industri adalah mesin laser. Laser (singkatan dari bahasa Inggris: *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) merupakan mekanisme suatu alat yang memancarkan radiasi elektromagnetik, biasanya dalam bentuk cahaya yang tidak dapat dilihat maupun dapat lihat dengan mata normal, melalui proses pancaran terstimulasi. Pancaran laser biasanya tunggal, memancarkan foton dalam pancaran koheren. Prinsip kerja adalah energi panas dari sinar laser mencairkan dan menguapkan material yang akan dipotong.

Dari perkembangan teknologi diatas, bisa dilihat kalau *fiber laser cutting* yang paling efisien di dunia industri manufaktur. Didalam jurnal karya **Catherine Wandera**^[2] mengatakan bahwa kedalaman potong dan kecepatan potong yang dicapai oleh *fiber laser cutting* lebih baik dari pada *CO2 laser cutting*. Hal tersebut dikarenakan panjang gelombang *fiber laser cutting* (1.06 μm) yang lebih pendek dari pada panjang gelombang yang lebih panjang (10.6 μm) yang dimiliki oleh *CO2 laser cutting*. Dimana panjang gelombang yang lebih pendek lebih mudah diserap oleh material pelat metal. Dengan toleransi pemotongan mencapai +/- 0.127 mm^[3], dimana toleransi tersebut hanya toleransi dari diameter *beam* yang dipancarkan. Dengan mengacu pada salah satu produk mesin CNC *fiber laser cutting* FCT – 1500 – CNC yang akan dianalisa, kecepatan dari crane pemegang laser box bisa mencapai 72 m/ menit, maka dibutuhkan struktur crane yang rigid serta ringan. Untuk keakurasian selain dari diameter beam bisa juga dilihat dari sistem yang digunakan, yaitu menggunakan cartesain robot, dimana keakurasian bisa mencapai 0,01 mm jika menggunakan *ball screw* dan jika menggunakan *belt* maka keakurasian bisa mencapai 0.1 mm^[15]. Keakurasian atau toleransi yang dicapai mesin *fiber* atau *CO2 laser cutting* hanya

berdasarkan dari diameter beam, jarang literatur atau *manual book* dari mesin *laser cutting* yang menyebutkan ketelitian dari mesin *laser cutting* berdasarkan deformasi struktur *crane* saat perlambatan atau percepatan terjadi.

Parameter keakurasian dari struktur *laser table* mengacu pada produk yang dihasilkan. Produk yang dihasilkan dari *Fiber Laser Cutting* ini memiliki toleransi sebesar 0,001 inchi atau 25,4 μm . Pemodelan kerangka utama dari *fiber laser cutting* ini dimulai dengan studi literatur tentang gambaran kasar dari kerangka utama yaitu bagian *laser carrier* maupun *laser table* dan beban-beban yang akan diterima oleh kerangka utama tersebut. Dan memformulasikan beban-beban dari bagian *carrier laser* yang akan diterima oleh struktur utama *table* tersebut. Beban yang diperhitungkan yaitu , beban statis komponen yang ada pada *carrier laser* dan beban saat akselerasi yang dihasilkan *carrier laser* terhadap bagian utama *table*. Setelah itu mulai di desain kerangka *laser table* yang kuat dan rigid seperti yang diharapkan. Dan dari desain tersebut akan disimulasikan dengan menggunakan metode numerik.

I.2. Rumusan Masalah

Untuk merancang dan mengevaluasi struktur *laser carrier* dan *laser table* agar mampu menerima beban statis maupun dinamis, maka perumusan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana memodelkan *laser carrier* dan *table* untuk mesin *fiber laser cutting* dengan ukuran luas bagian *table* sebesar 6000x2000mm.
2. Bagaimana menentukan *boundary condition* untuk mengevaluasi pemodelan *laser carrier* dan *table* dengan menggunakan metode numerik.
3. Bagaimana hasil evaluasi kemampuan dari desain *laser carrier* dan *laser tabel* pada saat menerima beban statis dan beban dinamis dengan menggunakan metode numerik.

4. Bagaimana perbandingan struktur mesin *laser fiber* ketika tumpuan dari bagian *laser carrier* dianggap *rigid* dan ketika tumpuan dari bagian *laser carrier* adalah sebuah *table* yang memungkinkan terjadinya deformasi.

I.3. Batasan Masalah

Agar penulisan tugas akhir ini lebih terarah, maka perlu diberikan beberapa batasan dalam penelitian ini. Adapun batasan masalah tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Material yang dipakai dalam mendesain bersifat *homogen, isotropic* dan elastis.
2. Tumpuan pada bagian *table* dianggap tidak mempunyai reaksi momen dan hanya mempunyai reaksi F_x , F_y , dan F_z .
3. Pemodelan hanya menggunakan desain *carrier* dan *main table* saja karena sudah mewakili kekakuan dan kekuatan dari seluruh bagian mesin *fiber laser cutting*

I.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Memodelkan *laser carrier* dan *table* untuk mesin *fiber laser cutting* dengan ukuran luas bagian *table* sebesar 6000x2000mm.
2. Menentukan *boundary condition* untuk mengevaluasi pemodelan *laser carrier* dan *table* dengan menggunakan metode numerik.
3. Mengevaluasi kemampuan dari pemodelan *laser carrier* dan *laser tabel* pada saat menerima beban statis dan beban dinamis dengan menggunakan metode numerik.
4. Membandingkan struktur mesin *laser fiber* ketika tumpuan dari bagian *laser carrier* dianggap *rigid* dan ketika tumpuan dari bagian *laser carrier* adalah sebuah *table* yang memungkinkan terjadinya deformasi.

I.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari Tugas Akhir ini dibagi menjadi dua, yaitu :

1. Manfaat Khusus :

Memberikan nilai kekuatan dan kekakuan dari desain struktur mesin *fiber laser cutting* saat terjadinya beban percepatan dan beban perlambatan.

2. Manfaat Umum :

- a. Sebagai media penelitian dan pengembangan ilmu pengetahuan dalam dunia manufacturing Indonesia.
- b. Membantu mahasiswa untuk lebih memahami konsep pengembangan dan perancangan struktur dasar mesin manufacturing.
- c. Memberi rekomendasi desain struktur mesin *fiber laser cutting* kepada perusahaan manufaktur Indonesia yang bekerja sama dengan Menristek Indonesia yang lebih baik dari mesin laser cutting yang sebelumnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

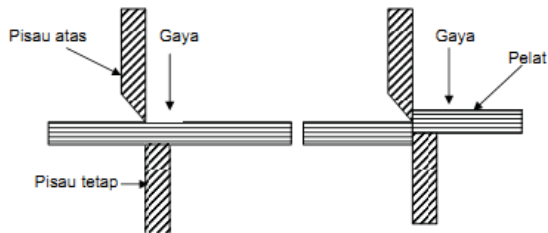
Pada bab 2 ini dijelaskan tentang dasar-dasar teori yang berhubungan dengan tugas akhir ini. Dimulai dengan perkembangan teknologi *cutting machine* yang menjelaskan tentang perkembangan-perkembangan teknologi *cutting machine* dari teknologi manual sampai teknologi laser. Teori kegagalan juga dijelaskan untuk memberi dasar teori tentang teori kegagalan *von mises*. Serta *Finite Elemen Analysis* (FEA) sebagai metode simulasi yang dipakai pada tugas akhir ini. FEA dibagi menjadi 3 macam yaitu elemen satu dimensi, elemen dua dimensi, dan elemen tiga dimensi. Pada tugas akhir ini, gerak dari struktur *crane laser box* berdasarkan gerak lurus berubah beraturan untuk mengetahui seberapa besar percepatan yang dibutuhkan untuk menggerakkan struktur *laser carrier*. Serta juga menggunakan teori hukum Newton 1, hukum Newton 2, dan gaya gesek sebagai dasar gaya-gaya dan kontak yang terjadi pada bagian *carrier* dan *table* pada mesin *fiber laser cutting*. Dan yang terakhir menjelaskan tentang studi literatur dari beberapa jurnal yang berkaitan. Berikut penjelasan lengkapnya.

II.1. Perkembangan Teknologi *Cutting Machine*

Dalam dunia industry manufaktur, pemotongan menjadi hal yang pertama dilakukan, karena pelat-pelat yang dihasilkan pabrikan masih dalam bentuk lembaran-lembaran. Pelat-pelat tersebut harus dipotong menurut gambar yang diinginkan. Proses pemotongan pelat pelat ini dapat dilakukan dengan berbagai macam teknik pemotongan sesuai kebutuhan. Pada pembahasan kali ini, teknik yang dipakai yaitu pemotongan dengan 1 kali proses. Perkembangan teknologi *cutting machine* sangat pesat, demi mengejar keakurasian dan tingkat produktifitas. Perkembangan teknologi *cutting machine* dimulai dari gunting, gullotine, mesin hidrolis, dan mesin Laser.

II.1.1. Gunting

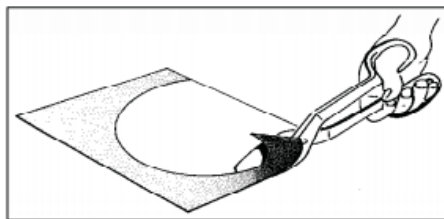
Sesuai dengan namanya yakni gunting digunakan untuk pemotongan pelat-pelat secara manual. Gaya pemotongan yang ditimbulkan dalam proses pemotongan dengan gunting adalah gaya geser, akibat geseran antara kedua mata pisau inilah yang menyebabkan tergungtingnya pelat seperti gambar 2.1.



Gambar2.1 prinsip proses pemotongan gunting^[1]

II.1.1.1. Gunting tangan

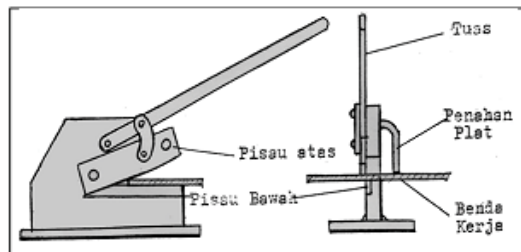
Kemampuan potong gunting tangan hanya mampu memotong pelat dibawah ketebalan 0.8 mm^[1]. keakurasian dari gunting tidak dapat diukur dikarenakan pemotongan secara manual. Tetapi pengoperasian dari gunting ini yang sangat mudah. Gunting tangan bisa memotong secara lurus dan bisa memotong secara melingkar seperti gambar 2.2



Gambar 2.2 contoh pemotongan plat menggunakan gunting tangan^[1]

II.1.1.2. Gunting tuas

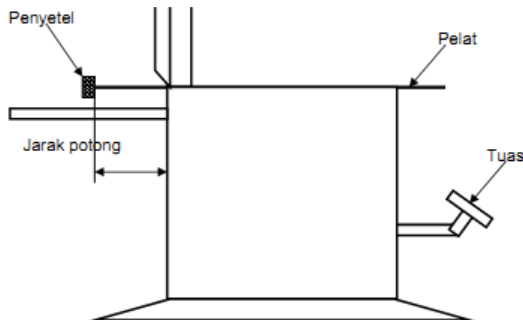
Untuk memotong pelat dengan ketebalan 1 mm – 3 mm bisa menggunakan gunting tuas^[1]. Tetapi gunting tuas hanya bisa memotong pelat secara lurus. Gaya pemotongan yang ditimbulkan untuk memotong pelat ini digerakkan oleh tuas yang berhubungan langsung dengan pisau atas. Posisi pelat yang dipotong terletak pada pisau bawah yang tetap seperti gambar 2.5.



Gambar 2.3 bagian-bagian gunting tuas^[1]

II.1.2. Mesin Guillotine

Mesin guillotine terdiri dari 2 jenis yakni mesin *guillotine* manual dan mesin *guillotine* hidrolik. Pada mesin *guillotine* manual pemotongan pelat dilakukan dengan tuas penekan yang digerakkan oleh kaki si pekerja. Dan mesin *guillotine* hidrolik proses pemotongnya digerakkan dengan sistem hidrolik, sehingga kemampuan potong mesin *guillotine* hidrolik ini lebih besar dari mesin *guillotine* manual. Mesin *guillotine* ini hanya mampu untuk pemotong pelat-pelat lurus. Untuk mesin *guillotine* manual ketebalan pelat yang dipotong dibawah 0.6 mm dan mesin *guillotine* hidrolik mampu memotong pelat antara 6-10 mm. pada mesin mesin *guillotine* ini juga dilengkapi dengan alat ukur untuk pengukuran pelat yang tepat, sehingga mempermudah pada proses pemotongannya^[1]. Skema mesin *guillotine* dapat dijelaskan pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Skema pemotongan dengan mesin guillotine manual^[1]

II.1.3. Mesin Potong Hidrolik

Mesin gunting hidrolik seperti gambar 2.8 menggunakan tenaga *power supply* tenaga hidrolik. Tenaga hidrolik yang dihasilkan untuk memotong adalah pompa hidrolik yang digerakkan oleh motor listrik. Mesin gunting hidrolik ini dilengkapi dengan program pada *panel box control* hidrolik. Dengan program hidrolik ini pelayanan untuk operasional mesin potong menjadi lebih sederhana. Kemampuan menggunting atau memotong palt dengan mesin hidrolik ini sampai mencapai ketebalan pelat 20 mm. Prinsip kerja mesin hidrolik ini sama dengan mesin *gullotine* umumnya. Hanya penekan yang digunakan pada mesin ini menggunakan actuator kerja ganda (*double acting*) dengan silinder sebanyak dua buah^[1].



Gambar 2.5 mesin potong hidrolik^[1]

II.1.4. *Laser Beam Machine*

Laser Beam Machining (LBM) adalah suatu metode pemotongan, di mana benda kerja dileburkan dan diuapkan oleh sebuah sinar laser monokromatik yang kuat. Ketika sinar mengenai benda kerja, panas menghasilkan lelehan dan menguapkan benda kerja hingga yang paling keras sekalipun [2]. Gambar 2.6 adalah contoh hasil pemotongan menggunakan LBM.



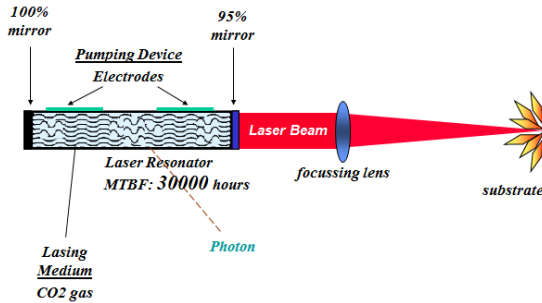
Gambar 2.6 Hasil pemotongan plat dengan LBM^[2]

Didunia industri manufaktur terutama pemotongan plat dengan LBM banyak dijumpai penggunaan laser yang diantaranya adalah CO₂ laser, dan *Fiber Laser*. Berikut adalah penjelasan LBM dengan kedua tipe laser tersebut :

II.1.4.1. *CO₂ Laser*

Laser mempunyai beberapa bagian utama yaitu pumping device berupa electrode, laser resonator/laser tube, mirror/cermin, dan lensa seperti gambar 2.10. Laser resonator merupakan bahan aktif yang di dalamnya terisi oleh gas CO₂. Pada kedua sisi tabung resonator ditempatkan dua cermin yang saling berhadapan secara sejajar. *Pumping device/electrode* berfungsi untuk mengeksitasi atom-atom gas CO₂. Atom yang tereksitasi tersebut mengemisi foton sehingga menyebabkan pergerakan foton (gelombang elektromagnetik). Gelombang elektromagnetik merambat dalam arah yang tegak lurus dari cermin sehingga terjadi pemantulan oleh

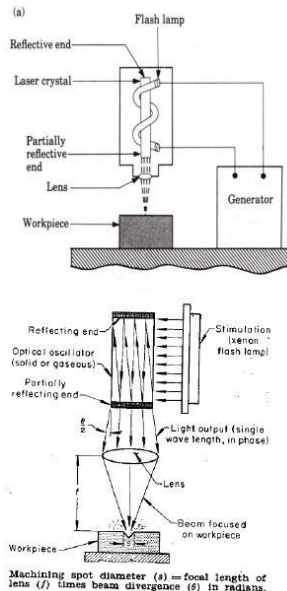
kedua cermin dan dikuatkan pada setiap lintasan melalui bahan aktif (gas CO₂).



Gambar 2.7 skema CO₂ laser^[3]

II.1.4.2. Fiber Laser

Fiber Laser termasuk dari *Laser Solid State*. Yang mana membuat Sinar Laser dari Benih Laser yang diperkuat dan didesain khusus dalam *Fiber Glass*, dengan skema pada gambar 2.11. Fiber Laser disupply oleh energy dari Dioda Pompa, dengan Panjang Gelombang 1,064 micrometer, Fiber Laser memiliki ketajaman detail yang sangat Halus, paling Detail dibanding Tipe CO₂ laser. Sebagai perbandingan, Intensitas hasil Laser Fiber 100x lebih halus dibanding CO₂ Laser dengan power yang sama. Hasil *Cutting, Marking, Engraving Fiber Laser* jauh lebih detail dan sangat Halus dan rapi. Sangat cocok digunakan untuk Industri yang membutuhkan Mesin Laser dengan Kualitas Premium dan *Cost Operasional* yang sangat Murah.



Gambar 2.8 skema fiber laser^[2]

Tabel 2.1. Tabel perbandingan setiap mesin potong

	Kelebihan	Kekurangan
Gunting	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mudah dalam penggunaan 2. Biaya alat dan operasi rendah 3. Bisa digunakan untuk beberapa jenis pemotongan 4. Kemampuan potong : 0,8 mm 5. Keakurasian : tergantung dari setiap operator 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak cocok untuk produksi dalam jumlah besar karena proses membutuhkan waktu lama 2. Alat pemotong cepat rusak karena terjadi kontak langsung dengan benda kerja dengan gaya yang besar

Mesin Gullotin	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cocok untuk produksi dalam jumlah besar 2. Kemampuan potong : 0,6 mm (manual), 6-10 mm (hidrolis) 3. Keakurasian : tergantung dari setiap operator 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hanya mampu melakukan pemotongan lurus 2. Alat pemotong cepat rusak karena terjadi kontak langsung dengan benda kerja dengan gaya yang besar
Mesin potong hidrolis	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cocok untuk produksi dalam jumlah besar 2. Kemampuan potong : 20 mm 3. Keakurasian : tergantung dari setiap operator 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hanya mampu melakukan pemotongan lurus dan siku-siku 2. Alat pemotong cepat rusak karena terjadi kontak langsung dengan benda kerja dengan gaya yang besar
<i>Laser Beam Machine</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cocok untuk produksi dalam jumlah besar 2. Mampu digunakan pada semua jenis logam 3. Ketidakadaan kontak langsung dan gaya yang besar antara alat dan benda kerja, sehingga usia alat lebih lama. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Memerlukan modal dan biaya operasi tinggi 2. Membutuhkan operator yang handal

	4. Mampu mengerjakan bentuk yang rumit 5. Kemampuan potong : 20 mm 6. Keakurasian : $\pm 2,54$ mikrometer	
--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

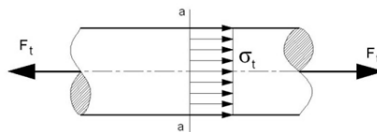
Dari tabel di atas dapat disimpulkan laser beam machine memiliki kemampuan potong dan keakurasian hasil pemotongan yang lebih baik. Dalam perkembangan teknologi manufakturing proses pemotongan plat dalam bentuk yang rumit sangat diperlukan sehingga dapat menghasilkan produk-produk yang berkualitas tinggi.

II.2. Teori Kegagalan

Tegangan normal terjadi apabila dua gaya (F_t atau F_c) yang besarnya sama dan berlawanan arah bekerja tegak lurus pada potongan suatu benda^[4]. Dimana seperti gambar 2.12 terjadi kondisi tarik dan pada gambar 2.13 terjadi kondisi tekan.

Kondisi tarik (tension)

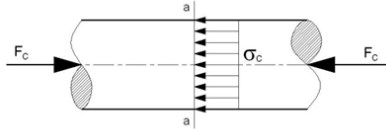
$$\sigma_t = \frac{F_t}{A_{(a-a)}}$$



Gambar 2.9 Tegangan normal tarik pada silinder^[5]

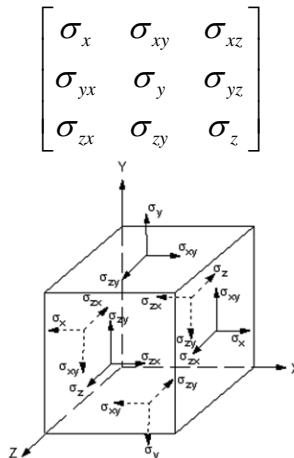
Kondisi tekan (compression)

$$\sigma_c = \frac{Fc}{A_{(a-a)}}$$



Gambar 2.10 Tegangan normal tekan pada silinder^[5]

Pada penelitian tugas akhir ini benda yang di teliti memiliki tiga dimensi, jadi dilakukan analisa tiga dimensi. Tegangan dilihat pada sebuah titik apabila diperbesar berupa bentuk kubus yang memiliki dimensi dx,dy dan dz seperti pada gambar 2.14. Dengan mengambil suatu sumbu refensi *orthogonal* (*Cartesian*) maka kubus tersebut akan memiliki 9 komponen sebagai berikut :



Gambar 2.11 Tensor tegangan tiga dimensi^[5]

Dimana memiliki Tegangan Prinsipal yang didapat dari persamaan :

$$\sigma^3 - I_1\sigma^2 + I_2\sigma - I_3 = 0$$

sehingga diperoleh σ_1 , σ_2 dan σ_3 dimana,

$$\begin{aligned} I_1 &= \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \\ I_2 &= \sigma_x \cdot \sigma_y + \sigma_y \cdot \sigma_z + \sigma_x \cdot \sigma_z - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{xz}^2 \\ I_3 &= \sigma_x \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z + 2 \cdot \tau_{xy} \cdot \tau_{yz} \cdot \tau_{xz} - \sigma_x \cdot \tau_{yz}^2 - \sigma_y \cdot \tau_{xz}^2 - \sigma_z \cdot \tau_{xy}^2 \end{aligned}$$

Sedangkan tegangan equivalennya didapat dari persamaan :

$$\sigma_{eqv} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right]^{1/2}$$

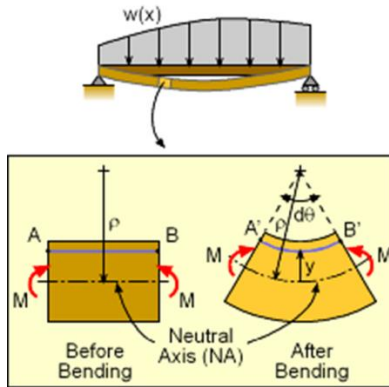
atau

$$\sigma_{eqv} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6 \cdot (\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) \right]^{1/2}$$

Persamaan di atas merupakan Maximum Distortion Energy Failure Theory (DET) atau yang juga dikenal dengan istilah Von Mises

II.3. Teori Defleksi

Teori defleksi ini untuk merumuskan atau memformulasikan secara teori defleksi pada beam. Batasan atau asumsi yang digunakan yaitu beam diasumsikan lurus, material bersifat elastis, sudut kemiringan dan panjang defleksi diasumsikan sangat kecil, dan deformasi yang terjadi adalah deformasi akibat bending^[6]. Seperti pada gambar 2.15, dimana beam mendapat gaya merata dan terjadi defleksi.



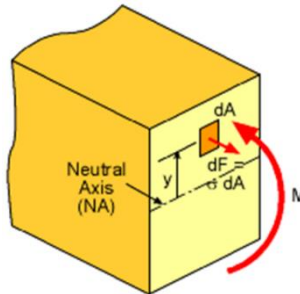
Gambar 2.12 defleksi pada beam^[6]

Dengan menggunakan persamaan dasar regangan, $\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$,

$$\epsilon = \frac{\overline{A'B'} - \overline{AB}}{\overline{AB}}$$

Dimana, $\overline{AB} = \rho d\theta$ dan $\overline{A'B'} = (\rho - y)d\theta$, maka:

$$\epsilon = \frac{(\rho - y)d\theta - \rho d\theta}{\rho d\theta} = \frac{\rho d\theta - y d\theta - \rho d\theta}{\rho d\theta} = -\frac{y}{\rho}$$



Gambar 2.13 momen dan gaya yang bekerja pada beam^[6]

Dari gambar 2.16, untuk momen (M) bernilai positif, tegangan yang berada diatas adalah tegangan kompresi (Tegangan

negative) dan untuk bagian bawah, adalah tegangan tarik (tegangan positif). Dengan menggunakan rumus dasar tegangan, $\sigma = E\varepsilon$. Dan mensubstitusikan persamaan regangan diatas, maka: $= -E \frac{y}{\rho}$ dengan persamaan momen dengan acuan NA, maka:

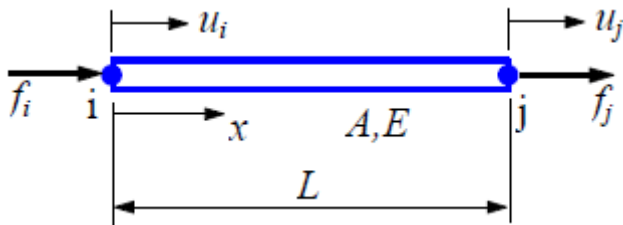
$$\begin{aligned}\sum M_{NA} &= 0 \\ \int y (-dF) &= M \\ - \int y \sigma dA &= M \\ \frac{E}{\rho} \int y^2 dA &= M \\ \frac{1}{\rho} &= \frac{M}{EI} \\ \rho &= \left| \frac{[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2]^{3/2}}{d^2y/dx^2} \right| \\ \frac{1}{\rho} &= \frac{d^2v}{dx^2} \\ \frac{d^2v}{dx^2} &= \frac{M}{EI}\end{aligned}$$

Persamaan defleksi ($\frac{d^2v}{dx^2} = \frac{M}{EI}$), adalah persamaan dasar untuk mencari total defleksi dari *beam* tersebut. Untuk menyelesaikan persamaan diferensial diatas, banyak metode yang digunakan. Dari metode integral, metode bidang momen, metode superposisi, metode *castigliano*, dan metode numerik (*Finite Elemen Analysis*). Dan metode numerik inilah yang akan kita gunakan, karena yang paling mendekati dengan kenyataan.

II.4. *Finite Elemen Analysis (FEA)*

Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*) adalah salah satu metode numerik untuk menyelesaikan berbagai problem

rekayasa, seperti mekanika struktur, mekanika tanah, mekanika batuan, mekanika fluida, hidrodinamik, aerodinamik, medan magnet, perpindahan panas, dinamika struktur, mekanika nuklir, aeronautika, akustik, mekanika kedokteran dan sebagainya ^[6]. Dasar dari metode elemen hingga adalah membagi benda kerja menjadi elemen-elemen kecil yang jumlahnya berhingga sehingga dapat menghitung reaksi akibat beban (load) pada kondisi batas (boundary condition) yang diberikan. Dari elemen-elemen tersebut dapat disusun persamaan-persamaan matrik yang bisa diselesaikan secara numerik dan hasilnya menjadi jawaban dari kondisi beban yang diberikan pada benda kerja tersebut. Dari penyelesaian matematis dengan menghitung inverse matrik akan diperoleh persamaan dalam bentuk matrik untuk satu elemen dan bentuk matrik total yang merupakan penggabungan (assemblage) matrik elemen. Dengan pendekatan secara sederhana sebagai berikut:



Gambar 2.14 *free body diagram* batang^[8]

Keterangan:

L : Panjang batang.

A : Luas penampang batang

E : Modulus elastisitas

$U = u(x)$: Perpindahan

$\varepsilon = \varepsilon(x)$: Regangan

$\sigma = \sigma(x)$: Tegangan

Hubungan regangan dengan perpindahan: $\varepsilon = \frac{du}{dx}$

Hubungan tegangan dengan regangan: $\sigma = E \cdot \varepsilon$

Dengan menggunakan metode matriks kekakuan langsung, maka:

$$\varepsilon = \frac{u_j - u_i}{L} = \frac{\Delta}{L}$$

$$\sigma = E\varepsilon = \frac{E\Delta}{L}$$

Dimana tegangan sama dengan gaya dibagi dengan luasan:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

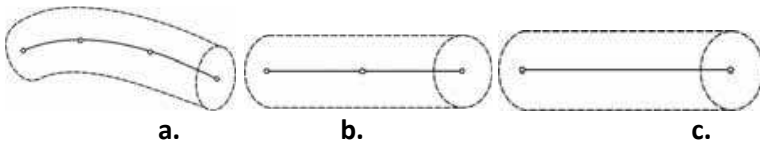
maka:

$$F = \frac{EA}{L} \Delta = k\Delta$$

Dimana $k = EA/L$ adalah kekakuan dari batang tersebut. Jadi untuk mencari gaya, dan juga tegangan dan regangan dibutuhkan data tentang perpindahan (Δ) dari tiap tiap elemen yang ada pada batang tersebut. Terdapat berbagai tipe bentuk elemen dalam metode elemen hingga yang dapat digunakan untuk memodelkan kasus yang akan dianalisis, yaitu :

II.4.1. Elemen Satu Dimensi

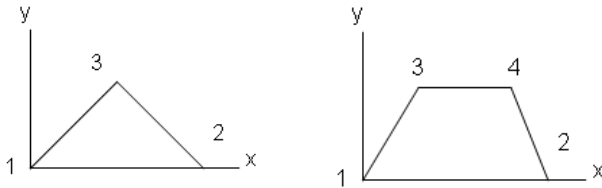
Elemen satu dimensi terdiri dari garis (*line*). Tipe elemen ini yang paling sederhana, yakni memiliki dua titik nodal, masing-masing pada ujungnya, disebut elemen garis linier. Dua elemen lainnya dengan orde yang lebih tinggi, yang umum digunakan adalah elemen garis kuadratik dengan tiga titik nodal dan elemen garis kubik dengan empat buah titik nodal seperti pada gambar 2.15.



gambar 2.15 elemen 1 dimensi, a. Kubik b. Kuadratik c. Linier^[8]

II.4.2. Elemen Dua Dimensi

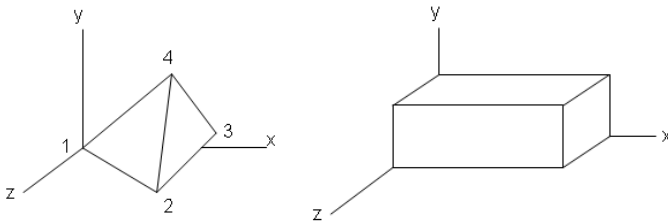
Elemen dua dimensi terdiri dari elemen segitiga (*triangle*) dan elemen segiempat (*quadrilateral*) seperti gambar 2.19. Elemen orde linier pada masing-masing tipe ini memiliki sisi berupa garis lurus, sedangkan untuk elemen dengan orde yang lebih tinggi dapat memiliki sisi berupa garis lurus, sisi yang berbentuk kurva ataupun dapat pula berupa kedua-duanya.



Gambar 2.16 elemen 2 dimensi segitiga dan segiempat^[8]

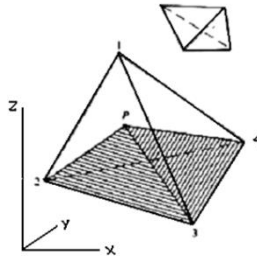
II.4.3. Elemen Tiga Dimensi

Elemen tiga dimensi terdiri dari elemen tetrahedron dan elemen balok seperti gambar 2.20.



Gambar 2.17 elemen 3 dimensi *tetrahedron* dan balok^[8]

Adapun elemen yang digunakan dalam penelitian ini adalah elemen tetrahedron seperti gambar 2.21. Elemen tetrahedron adalah elemen yang paling mudah untuk dibentuk dalam suatu modal matematika.



Gambar 2.18 elemen *tetrahedron*^[9]

Struktur crane laser box terbuat dari baja dengan sedemikian rupa sehingga membentuk sistem struktur pejal yang rumit. Struktur pejal tersebut akan menerima beban aksial maupun lentur, sehingga elemen tersebut dapat diberlakukan sebagai elemen hingga. Dikarenakan struktur yang akan dianalisa cukup rumit, maka digunakanlah elemen tetrahedron ini. Elemen tetrahedron ini memiliki 4 titik nodal dikeempat titik sudutnya.

II.5. Teori gerak Lurus Berubah Beraturan

Pada pembahasan Tugas akhir ini, kecepatan dari struktur crane bergerak secara konstan, dimana percepatan dan perlambatan yang terjadi secara konstan. Gerak struktur crane ini gerak lurus berubah beraturan (GLBB). Gerak lurus berubah beraturan (GLBB) diartikan gerak benda dengan lintasan garis lurus dan memiliki kecepatan setiap saat berubah secara teratur^[10]. Rumus GLBB ada 3, yaitu:

$$v_t = v_0 + a \cdot t$$

$$s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

$$v_t^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot s$$

Dengan keterangan:

- v_t = kecepatan akhir atau kecepatan setelah t sekon (m/s).
- v_0 = kecepatan awal (m/s).
- a = percepatan (m/s^2)
- t = selang waktu (s)
- s = jarak tempuh (m)

II.6. Hukum Newton

Hukum newton diterapkan pada benda yang dianggap sebagai partikel, dalam evaluasi pergerakan misalnya, panjang benda tidak dihiraukan, karena objek yang dihitung dapat dianggap kecil, relative terhadap jarak yang ditempuh. Perubahan bentuk dan rotasi dari suatu objek juga tidak diperhitungkan dalam analisisnya. Dalam tugas akhir ini, analisa menggunakan analisa statis dimana struktur crane dianggap sebagai sebuah partikel.

II.6.1. Hukum Newton I

Hukum Newton I menyatakan bahwa setiap benda akan mempertahankan keadaan diam atau bergerak lurus beraturan, kecuali ada gaya yang bekerja untuk mengubahnya. Hukum ini menyatakan bahwa jika resultan gaya bernilai nol, maka kecepatan benda tersebut konstan^[10]. Dirumuskan secara matematis menjadi:

$$\sum F = 0 \Rightarrow \frac{dv}{dt} = 0$$

Artinya:

Sebuah benda yang sedang diam akan tetap diam kecuali ada resultan gaya yang tidak nol bekerja padanya. Sebuah benda yang sedang bergerak, tidak akan berubah kecepatannya kecuali ada resultan gaya yang tidak nol bekerja padanya.

II.6.2. Hukum Newton II

Hukum kedua menyatakan bahwa total gaya pada sebuah partikel sama dengan banyaknya perubahan momentum linear p terhadap waktu^[10]:

$$F = \frac{dp}{dt} = \frac{d(m.v)}{dt}$$

Karena hukumnya hanya berlaku untuk sistem dengan massa konstan, variable massa dapat dikeluarkan dari operator diferensial, maka:

$$F = m \frac{dv}{dt} = m.a$$

Keterangan:

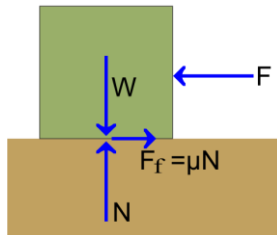
F = total gaya yang bekerja.

m = massa benda.

a = percepatan benda.

II.6.3. Gaya Gesek

Gaya gesek adalah gaya yang berarah melawan gerak benda atau arah kecenderungan benda bergerak. Gaya gesek muncul apabila dua buah benda bersentuhan. Benda-benda yang dimaksud di sini tidak harus berbentuk padat, melainkan dapat pula berbentuk cair, ataupun gas.



Gambar 2.19 Gaya gesek pada freebody diagram balok^[10]

Terdapat dua jenis gaya gesek antara dua buah benda yang padat saling bergerak lurus, yaitu gaya gesek statis dan gaya gesek kinetis, yang dibedakan antara titik-titik sentuh antara kedua permukaan yang tetap atau saling berganti (menggeser). Untuk benda yang dapat menggelinding, terdapat pula jenis gaya gesek lain yang disebut gaya gesek menggelinding (rolling friction)^[11].

Gaya gesek statis adalah gesekan antara dua benda padat yang tidak bergerak relatif satu sama lainnya. Sementara itu Gaya gesek kinetis (atau dinamis) terjadi ketika dua benda bergerak relatif satu sama lainnya dan saling bergesekan. Koefisien gesek kinetis pada umumnya selalu lebih kecil dari gaya gesek statis untuk material yang sama^[10].

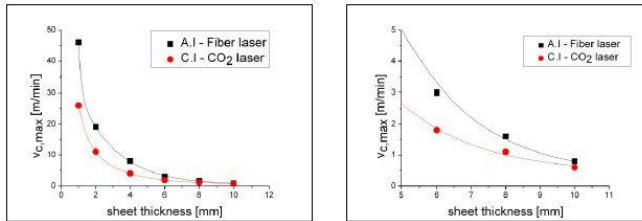
II.7. Studi Literatur

Pada jurnal yang berjudul EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS ON FUSION CUTTING STAINLESS STEEL WITH FIBER AND CO₂ LASER BEAMS karya Stelzer S, dkk menjelaskan perbedaan antara Fiber laser dan CO₂ laser saat memotong stales steel. Stainless steel AISI 304 dengan ketebalan 1-10 mm dipotong menggunakan 2 buah laser dengan perbedaan sebagai berikut:

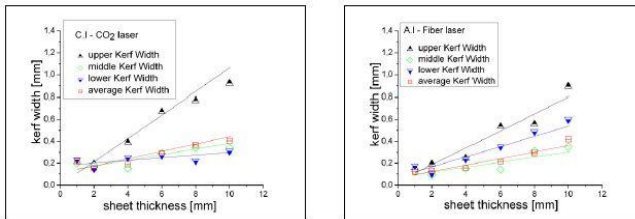
Table 2.2 parameter Fiber laser dan CO₂ laser^[11]

Laser and Beam Parameters	Fiber Laser	CO ₂ Laser
Maximal output power / kW	4	3
Used output power / kW	3	3
Fiber Diameter / μm	50	-
Raw beam diameter / mm	-	22
Collimating length / mm	125	-
Focal length / mm	254	190
Nominal beam parameter product (BPP) / mm mrad	2.1	5.4
Beam quality factor M^2	602	1.6
Focal radius (86%) μm	50	85
Rayleigh length / mm	1.4	1.5

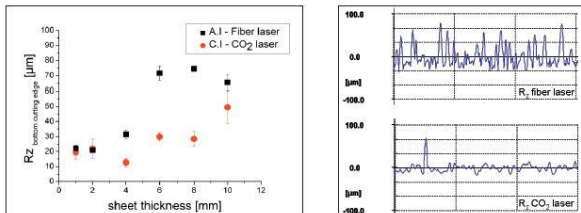
Dari pengujian tersebut didapat beberapa grafik yang mengimplementasiakn perbedaan CO₂ dan fiber laser cutting. Pada gambar 2.22 grafik cutting speed maksimal dan detail kecepatan pada plat 6-10 mm, pada gambar 2.23 menggambarkan tentang area celah pemotongan dan efisiensi thermal pada fiber dan CO₂ laser dan pada gambar 2.24 menggambarkan tentang kekasaran rata-rata dari hasil pemotongan fiber dan CO₂ laser.



Gambar 2.20 Grafik cutting speed maksimal dan detail kecepatan makan pada plat 6-10 mm^[11]



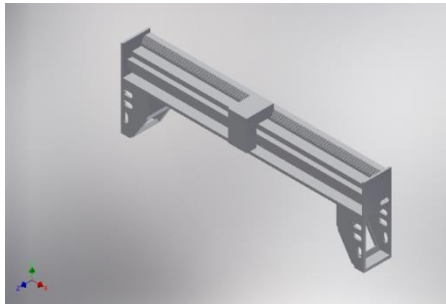
Gambar 2.21 Grafik area celah pemotongan dan efisiensi thermal pada fiber dan co2 laser^[11]



Gambar 2.22 kekasaran rata-rata dari hasil pemotongan fiber dan co2 laser^[11]

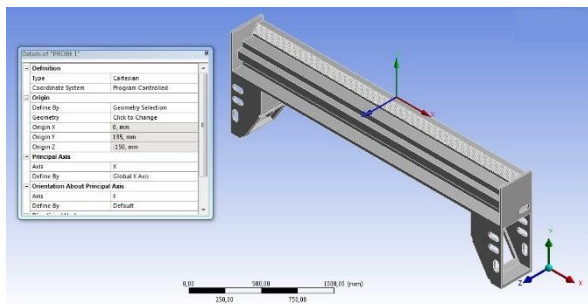
Dari eksperimen tersebut dapat dilihat jika *fiber laser* lebih unggul dari pada CO_2 laser. Hal tersebut didapatkan dari perbandingan CO_2 laser dengan *fiber laser* dilihat dari cutting speed maksimal, area celah pemotongan dan efisiensi thermal, dan kekasaran rata-rata dari hasil pemotongan. Oleh karena itu mesin *laser fiber* diharuskan untuk memiliki perangkat pendukung yang lebih baik. Perangkat yang lebih baik ini yang dimaksudkan adalah *crane* dan *table* dari laser tersebut.

Pada tugas akhir yang berjudul **STUDI TENTANG KEKUATAN DAN KEKAKUAN STRUKTUR *LASER CARRIER* PADA MESIN *FIBER LASER CUTTING*** karya Achmad Tarmidzi Tohir menjelaskan analisa desain *laser carrier* pada mesin fiber cutting dengan menggunakan software *ANSYS static structural* untuk mendapatkan nilai deformasi maksimal kearah horizontal dan kekuatan dari crane laser box ketika menerima beban statis, pengereman, dan beban percepatan kemudian Mengevaluasi kemampuan *laser carrier* dalam menerima pembebanan statis , pengereman dan pembebanan percepatan.

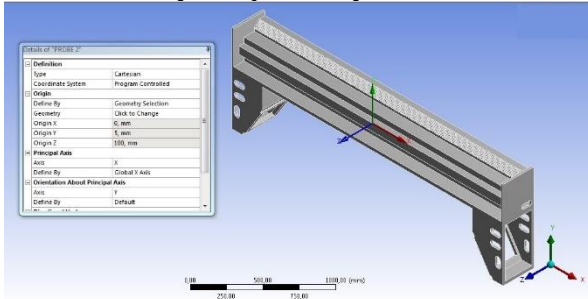


Gambar 2.23 desain pemodelan *Laser carrier* dan *Laser box*^[12]

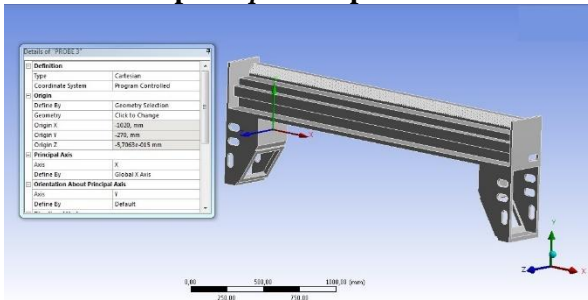
Dari desain diatas dilakukan analisa untuk mencari deformasi ke arah sumbu z, deformasi total, dan kekuatan (von-misses) akibat beban percepatan dan perlambatan untuk kecepatan maksimal hingga 72 m/s dengan interval 10 m/s menggunakan metode quasistatis sebagai parameter yang digunakan untuk melakukan simulasi dengan menggunakan software *ANSYS static structural*. Analisa dilakukan menggunakan 3 probe yang digunakan sebagai titik yang akan di analisa dalam pembebanan perubahan kecepatan baik percepatan maupun perlambatan. Adapun posisi dan hasil analisa dari setiap probe adalah sebagai berikut :



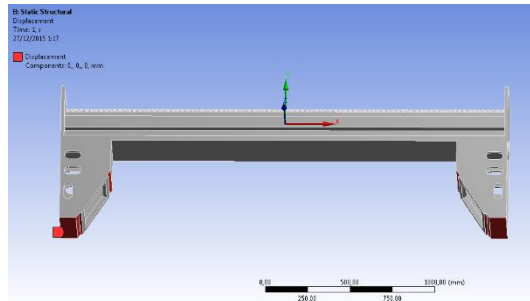
Gambar 2.24 posisi *probe 1* pada *laser carrier*^[12]



Gambar 2.25 posisi *probe 2* pada *laser carrier*^[12]



Gambar 2.26 posisi *probe 3* pada *laser carrier*^[12]



Gambar 2.27 posisi tumpuan (*fixed support*) dari desain *laser carrier*^[12]

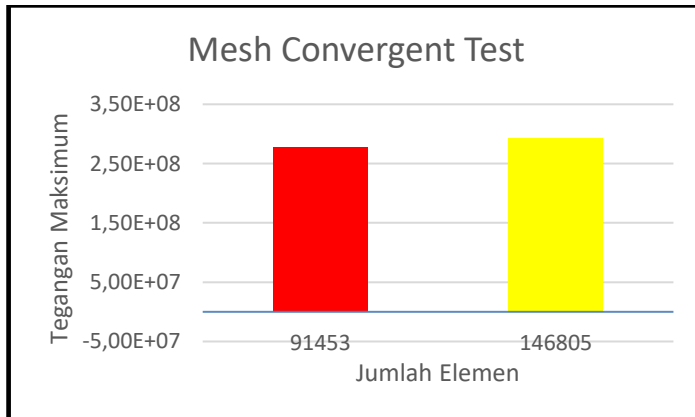
Dari tiga Probe yang telah di analisa, Probe 2 dipilih untuk mewakili keakurasian Laser carrier, karena posisi Laser Box menempel ke body pada Probe 2. Analisa saat perlambatan pada Probe 2 yang akan menjadi nilai keakurasian pada Laser carrier tersebut. Hal ini disebabkan karena pada saat akan memulai memotong, laser carrier mengalami perlambatan. Tingkat keakurasian tertinggi dicapai pada perlambatan 0,01 m/s² dengan defleksi sebesar 7,5267 μm (0,0075267 mm). tingkat keakurasian terendah dicapai pada perlambatan 0,58 m/s² dengan defleksi sebesar 6,2127 μm (0,0062127 mm).

Kekuatan dari Laser carrier bisa diambil dari Probe 3 karena posisi Probe 3 yang dekat dengan tumpuan dan memiliki hasil von mises yang paling besar. Nilai von mises terbesar bisa didapat pada saat Laser carrier mengalami percepatan. Nilai von mises tertinggi dicapai pada percepatan 0,58 m/s² dengan nilai sebesar 0,4376 Mpa. dengan hasil von mises tersebut, laser carrier tersebut bisa dikatakan aman, dengan safety factor sebesar 15. Hal ini dikarenakan beban yang masih terbilang kecil.

Analisa tersebut menunjukkan hasil defleksi dan kekuatan dari desain *laser carrier* pada mesin *fiber cutting* ketika tumpuan dianggap *rigid*. Didalam perancangan Mesin *laser fiber* diperlukan analisa lanjutan untuk desain *table* sebagai penunjang dari desain *laser carrier* tersebut. Karena desain dari *table* tidak bisa dianggap

rigid karena memungkinkan terjadinya defleksi, maka dari itu topik dari tugas akhir ini diangkat.

Untuk metode validasi penelitian ini dapat dilakukan dengan *convergent test* sebagai contoh jurnal karya Ravi Kumar Tentang *Topology Optimization Of Aluminium Alloy Wheel* ^[13]. Pada jurnal tersebut bertujuan untuk melakukan analisa tentang kriteria kegagalan akibat *crack* pada simulasi pengujian *impact drop-test* terjadi pada daerah jari-jari pelek . Dari hasil simulasi dengan menggunakan variasi jumlah meshing didapatkan grafik sebagai berikut :



Gambar 2.28 Grafik *Mesh convergent test* pada jumlah elemen tertentu^[13]

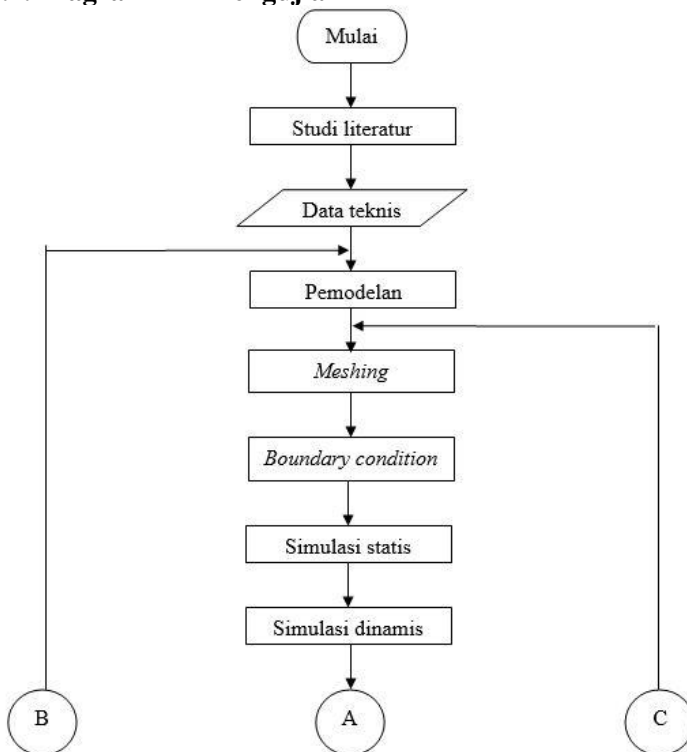
Gambar 2.28 merupakan grafik hasil *convergent test* yang dilakukan pada desain awal pelek. Grafik tersebut menunjukkan perubahan tegangan maksimal yang dipengaruhi penambahan jumlah elemen. Percobaan pertama dilakukan dengan jumlah elemen 91.453 didapatkan tegangan tegangan maksimal yang bekerja pada *velg* sebesar 277,07 MPa. Kemudian meningkat dan konvergen mulai dari titik dengan jumlah elemen 146805 dengan nilai tegangan maksimal sebesar 293,38 MPa. Dari kedua proses *mesh convergent test* ini dapat dilihat bahwa perbedaan jumlah

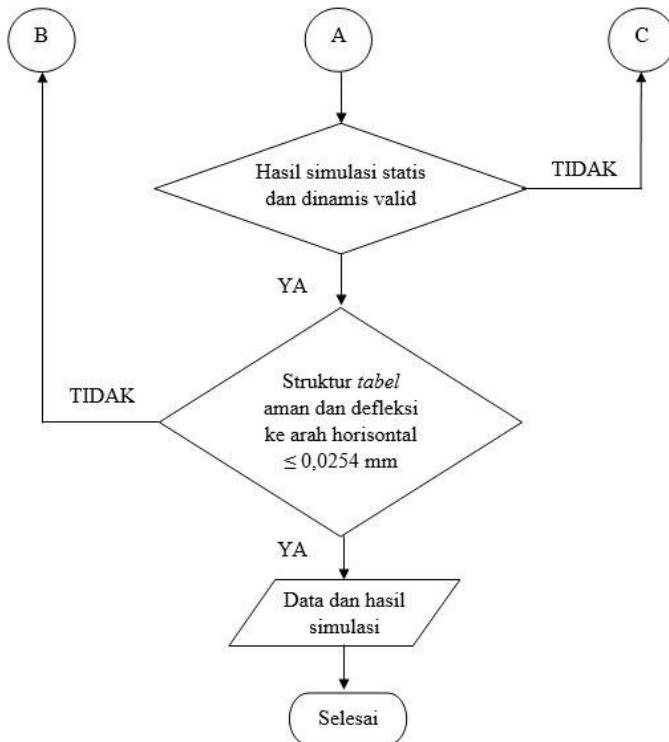
elemen yang besar tidak mengakibatkan perubahan tegangan yang signifikan. Dengan jumlah perbedaan elemen yaitu 55.352 didapatkan tegangan maksimum yang terjadi tidak berubah terlalu besar. Prosentase perbedaan tegangan maksimum dari kedua proses tersebut yaitu 5,9%. Oleh karena itu proses tersebut telah *convergent*. Dari prosentase tersebut dapat dijadikan acuan sebagai metode validasi dari penelitian yang akan dilakukan.

BAB III METODOLOGI PERCOBAAN

Pada bab 3 ini akan dijelaskan mengenai metodologi yang digunakan untuk melaksanakan percobaan. Metodologi tersebut akan dibagi menjadi beberapa proses yang akan dipaparkan dalam diagram alir pengujian. Dari diagram alir akan dijelaskan mulai awal proses yaitu studi literatur hingga akhir proses yaitu pengambilan data hasil simulasi yang menggunakan metode numerik.

III.1. Diagram Alir Pengujian





Gambar 3.1. Diagram Alir Pengujian

III.2. Proses Pengujian

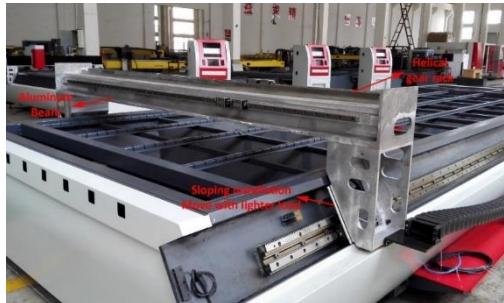
Berdasarkan diagram alir diatas proses pengujian diawali dengan studi literatur untuk mendapatkan data teknis mesin *fiber laser cutting* yang dibutuhkan. Kemudian dari data teknis tersebut akan digunakan untuk proses pemodelan mesin *fiber laser cutting* tersebut. Setelah proses desain pemodelan selesai maka akan dilanjutkan dengan proses *meshing* kemudian menentukan *boundary condition*. Setelah itu akan dilakukan simulasi statis dan simulasi dinamis sehingga didapatkan data hasil simulasi yang diinginkan. Berikut adalah penjelasan dari setiap proses yang dilakukan untuk pengujian :

III.2.1. Studi Literatur

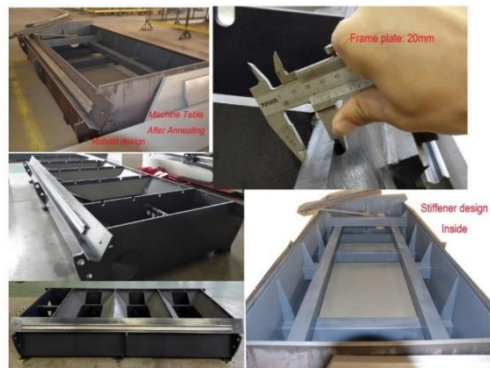
Studi literatur adalah proses pengumpulan data teknis yang dibutuhkan untuk memulai pengujian. Data teknis yang dibutuhkan salah satunya berupa referensi desain yang digunakan dalam melaksanakan pengujian. Referensi yang digunakan dalam melaksanakan pengujian ini adalah mesin CNC mars-JLM3015 seperti gambar berikut.



Gambar 3.2. Mesin CNC Mars-JLM 3015



Gambar 3.3. Struktur dasar crane laser box mesin CNC Mars-JLM 3015



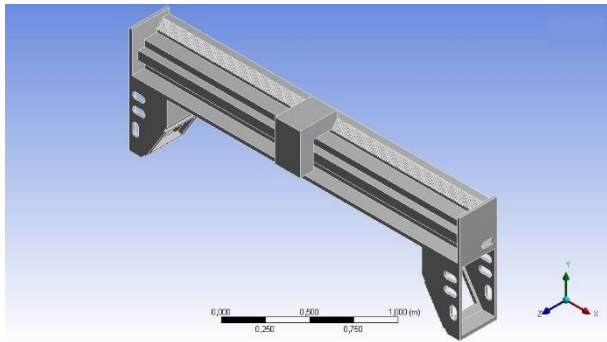
Gambar 3.4. Struktur *main table* mesin CNC Mars-JLM 3015

机床技术参数 / Machining technical parameters					
项目/Item		技术参数 Technical parameter	项目/Item		技术参数 Technical parameter
最大加工尺寸Max cutting size (mm)		3000 × 1500	快速定位速度 Rapid positioning speed	X 轴axis (m/min)	72
工件最大高度 Maximum height of the workpiece (mm)		90		Y 轴axis (m/min)	72
有效行程 Effective travel	X 轴axis(mm)	3050		Z 轴axis (m/min)	30
	Y 轴axis(mm)	1550	加速度Accelerated speed (G)		0.7
	Z 轴axis(mm)	100	激光器功率 The power consumption of the machine tool (W)		500/800/1000/1500/2000
定位精度 Positional accuracy	X 轴axis (mm/m)	± 0.05	最大切削速度Max Cutting Speed (m/min)		30
	Y 轴axis (mm/m)	± 0.05	机床功耗Level of protection(Kwh)		4.5
	Z 轴axis (mm/m)	± 0.01	防护等级Level of protection		IP54
重复定位精度 Repeated positioning accuracy	X 轴axis (mm)	± 0.03	整机重量Total weight (T)		4.35
	Y 轴axis (mm)	± 0.03	外形尺寸 Boundary dimension L×W×H(mm)		4116 × 2165 × 1346
	Z 轴axis (mm)	± 0.005			

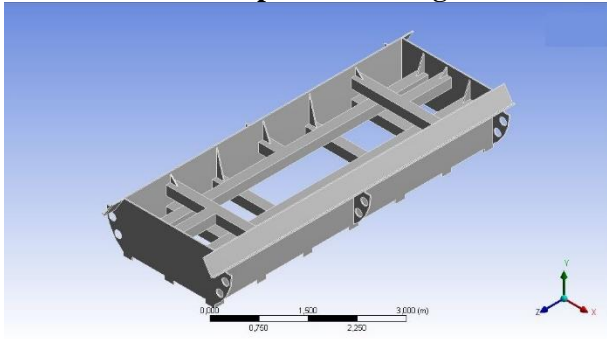
Gambar 3.5. tabel spesifikasi teknis mesin CNC Mars-JLM 3015

III.2.2. Pemodelan

Proses pemodelan yang dilakukan berdasarkan Mesin CNC Mars-JLM 3015 dengan ukuran *table* paling besar yaitu 6000x2000 mm. Dari referensi tersebut dilakukan proses pemodelan dengan menggunakan *software* CAD. Pemodelan yang digunakan adalah bagian *crane laser box* dengan *main table* dari Mesin CNC Mars-JLM 3015. Hasil yang akan didapatkan dari proses desain pemodelan akan didapatkan seperti gambar berikut ini :

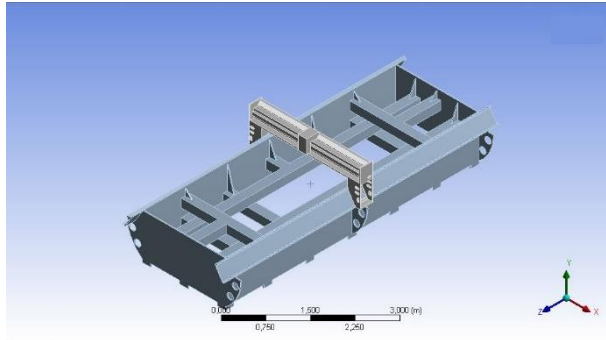


Gambar 3.6. Gambar pemodelan bagian *laser carrier*



Gambar 3.7. Gambar pemodelan bagian *laser table*

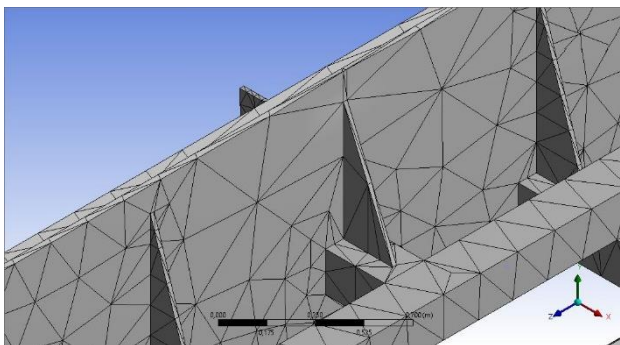
Dari kedua desain pemodelan antara bagian *crane laser box* dengan *main table* kontak yang terjadi adalah *slider*. Sehingga dari kontak tersebut menghasilkan gaya gesek yang menyebabkan terjadinya defleksi apabila bagian dari *crane laser box* mengalami perubahan kecepatan.



Gambar 3.8. Gambar pemodelan kontak dari *assembly laser carrier* dengan *laser table*

III.2.3. *Meshing*












Meshing adalah proses untuk membagi desain pemodelan kedalam elemen-elemen kecil yang terbatas jumlahnya (*finite element*). Setiap elemen-elemen ini selanjutnya akan mempunyai model matematis sehingga dapat dilakukan analisa secara numerik dari setiap bagian mesin *laser fiber*. Pada penelitian kali ini proses *meshing* untuk simulasi statis dilakukan sebanyak 2 kali dengan memvariasikan ukuran dari setiap elemen sebagai metode validasi. Sementara itu proses untuk simulasi dinamis proses *meshing* dilakukan hanya sebanyak 1 kali.



Gambar 3.9. Gambar meshing pada bagian *table*

III.2.4. *Boundary condition*

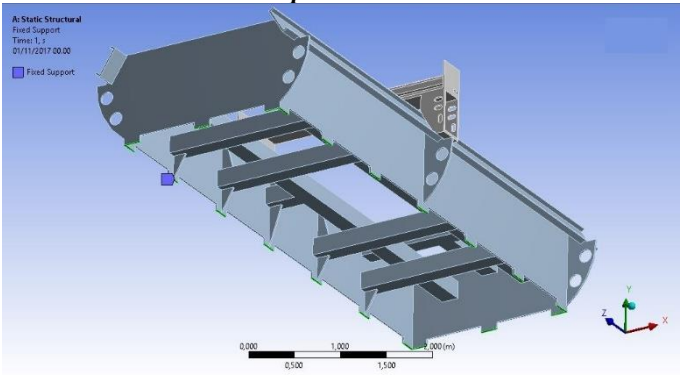
Boundary condition merupakan kondisi-kondisi batas atau kontrol perhitungan yang dimasukkan sebelum dilakukan proses simulasi. *Boundary condition* yang akan ditentukan antara lain adalah : titik tumpuan, titik peletakan beban, nilai dari percepatan dan perlambatan pada bagian *laser carrier*, koefisien gesek yang terjadi antara *laser carrier* dan *table*, serta titik-titik dari bagian *laser carrier* yang akan dilakukan analisa (probe). Dimana posisi probe tersebut akan disesuaikan dengan posisi probe pada penelitian sebelumnya. Selain itu material yang dimasukkan yaitu *aluminium* untuk bagian *laser carrier* dan *steel* untuk bagian dari *laser table*. Dengan beban yang telah ditentukan yaitu massa total dari masing-masing bagian dan beban perubahan kecepatan dari bagian *laser carrier*. Kontak yang terjadi antara bagian *laser carrier* dengan *table* didefinisikan dengan koefisien gesek statis sebesar 0,61 dan koefisien gesek dinamis sebesar 0,47 pada kondisi kering^[14]. Adapun *properties material* dari *steel* dan *aluminium* yang digunakan adalah sebagai berikut :

Properties of Outline Row 5: Structural Steel			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	 Density	7850	kg m ⁻³
3	 Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
6	 Isotropic Elasticity		
7	Derive from	Young's M...	
8	Young's Modulus	2E+11	Pa
9	Poisson's Ratio	0,3	
10	Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa
11	Shear Modulus	7,6923E+10	Pa
12	 Field Variables		
16	 Alternating Stress Mean Stress	 Tabular	
20	 Strain-Life Parameters		
28	 Tensile Yield Strength	2,5E+08	Pa
29	 Compressive Yield Strength	2,5E+08	Pa
30	 Tensile Ultimate Strength	4,6E+08	Pa
31	 Compressive Ultimate Strength	0	Pa

Gambar 3.10. tabel *Properties material* dari *steel*

Properties of Outline Row 4: Aluminum Alloy			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Density	2770	kg m^-3
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
6	Isotropic Elasticity		
7	Derive from	Young's Mo...	
8	Young's Modulus	7,1E+10	Pa
9	Poisson's Ratio	0,33	
10	Bulk Modulus	6,9608E+10	Pa
11	Shear Modulus	2,6692E+10	Pa
12	Field Variables		
16	Alternating Stress R-Ratio	Tabular	
20	Tensile Yield Strength	2,8E+08	Pa
21	Compressive Yield Strength	2,8E+08	Pa
22	Tensile Ultimate Strength	3,1E+08	Pa
23	Compressive Ultimate Strength	0	Pa

Gambar 3.11. tabel *Properties material* dari *aluminium*



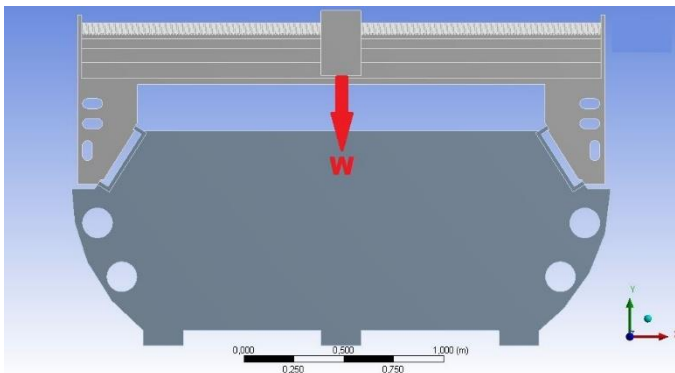
Gambar 3.12. Posisi tumpuan pada kaki bagian *table*

III.2.5. Simulasi

Simulasi adalah metode analisa menggunakan numerik yang bertujuan untuk mengetahui distribusi tegangan dan defleksi dari seluruh bagian *laser tabel* akibat beban yang diterima dari bagian *laser carrier*. Simulasi yang akan dilakukan dibagi menjadi dua yaitu simulasi statis dan simulasi dinamis, dimana keduanya dengan dilakukan dengan menggunakan elemen terhingga.

III.2.5.1. Simulasi statis

Simulasi statis bertujuan untuk mendapatkan nilai dari tegangan maksimal yang dapat diterima bagian *laser table* akibat beban gaya berat yang ditimbulkan dari bagian *laser carrier*. Nilai dari tegangan maksimal dapat dicari dengan menggunakan *maximum distortion energy failure theory* atau yang dikenal dengan istilah *von mises*. Apabila nilai dari tegangan maksimal yang diterima *laser table* melebihi nilai dari tegangan yang di izinkan maka perlu dilakukan desain ulang. Tetapi apabila nilai dari tegangan maksimal yang diterima *laser table* kurang dari sama dengan nilai dari tegangan yang di izinkan maka desain tersebut aman dan dilakukan pengambilan data hasil simulasi.



Gambar 3.13. Gambar beban statis yang diterima bagian *laser tabel*

III.2.5.2. Simulasi dinamis

Simulasi dinamis bertujuan untuk mendapatkan nilai defleksi dan kekuatan (*von misses*) yang terjadi pada bagian *laser table* akibat beban percepatan dan perlambatan dari bagian *laser carrier*. Nilai defleksi tersebut akan mempengaruhi tingkat keakurasian dari proses pemotongan dengan menggunakan mesin *fiber laser cutting* tersebut. Sehingga apabila nilai dari defleksi maksimum lebih dari 0,0254 mm maka akan dilakukan pemodelan ulang. Tetapi apabila nilai dari defleksi maksimum kurang dari

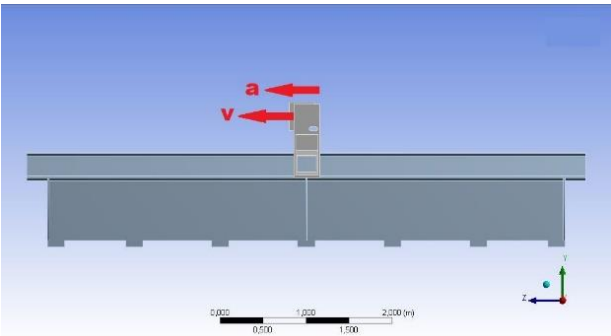
0,0254 mm maka disain tersebut dapat digunakan dan dilakukan pengambilan data hasil simulasi.

III.2.5.2.1. Pembebanan Akibat Percepatan

Dalam pembebanan percepatan ini, kecepatan menjadi parameter yang ditentukan, yaitu dari kecepatan 0 m/menit sampai mencapai kecepatan maksimal yaitu 72 m/menit dengan interval 10 m/menit. Dimana kecepatan tersebut ditempuh pada jarak 1,25 m. Dari pembebanan tersebut didapat defleksi kearah horizontal dan von mises pada setiap pembebanan seperti tabel 3.1 berikut:

Table 3.1 Tabel hasil simulasi akibat beban akselerasi

No.	Kecepatan (m/menit)	Percepatan (m/s ²)	Defleksi arah z	Total Defleksi	Von-Misses
1	10				
2	20				
3	30				
4	40				
5	50				
6	60				
7	70				
8	72				



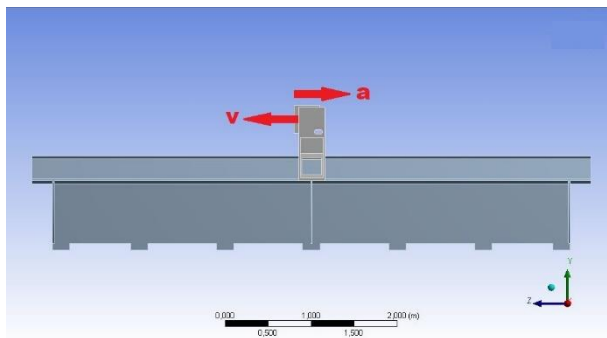
Gambar 3.14. Gambar beban percepatan yang diterima bagian *laser tabel*

III. 2.5.2.2. Pembebanan Akibat perlambatan

Dalam pembebanan akibat perlambatan ini, kecepatan menjadi parameter yang ditentukan, yaitu dari kecepatan 72 m/menit kecepatan 0 m/menit dengan interval 10 m/menit. Dimana kecepatan tersebut ditempuh pada jarak 1,25 m. Dari pembebanan tersebut didapat defleksi kearah horizontal dan von mises pada setiap pembebanan seperti tabel 3.2 berikut:

Table 3.2 Tabel hasil simulasi akibat beban pengereman

No.	Kecepatan (m/menit)	Perlambatan (m/s ²)	Defleksi arah z	Total Defleksi	Von- Mises
1	10				
2	20				
3	30				
4	40				
5	50				
6	60				
7	70				
8	72				



Gambar 3.15. Gambar beban perlambatan yang diterima bagian *laser tabel*

III.2.6. Validasi hasil simulasi

Salah satu metode validasi hasil simulasi juga dapat dilakukan dengan melakukan *mesh convergent test*. *Mesh convergent test* ini merupakan tindakan yang dilakukan pada proses simulasi untuk mengetahui apakah *meshing* yang dilakukan sudah benar. Hal tersebut tentunya akan berpengaruh terhadap besarnya data hasil simulasi yang ditampilkan. Pada metode ini dilakukan dengan cara membandingkan setiap hasil simulasi dengan menggunakan variasi perbedaan jumlah *meshing*. *Mesh convergent test* ini digunakan sebagai metode validasi untuk simulasi statis.

Selain itu metode validasi yang selanjutnya juga dapat dilakukan dengan cara membandingkan hasil simulasi pada tugas akhir sebelumnya. Apabila hasil simulasi Tidak jauh berbeda maka dapat dikatakan hasil simulasi tersebut valid. Metode validasi ini digunakan untuk memeriksa proses *meshing* yang digunakan untuk melakukan simulasi dinamis sudah benar. Metode ini digunakan untuk melakukan validasi untuk data hasil dari simulasi dinamis.

BAB IV

HASIL DAN ANALISA

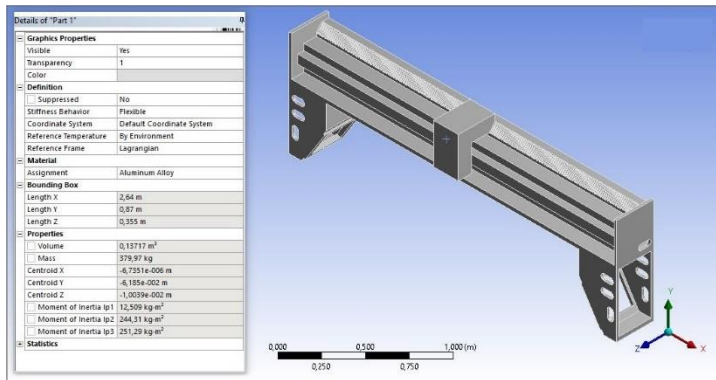
Pada bab 4 ini akan dijelaskan mengenai hasil dari pemodelan *laser carrier*, *table*, dan analisa hasil simulasi statis dan simulasi dinamis. Pada analisa simulasi statis dan dinamis juga dijelaskan dari *Boundary condition* yang digunakan hingga data yang didapatkan dari hasil simulasi serta pembahasan dari data yang didapatkan.

VI.1. Hasil Pemodelan

Hasil pemodelan yang digunakan pada penelitian kali ini berdasarkan mesin CNC Mars-JLM 3015 dengan ukuran *table* paling besar yaitu 6000x2000 mm. Dari pemodelan tersebut akan digunakan sebagai dasar untuk melakukan simulasi.

VI.1.1. Laser carrier

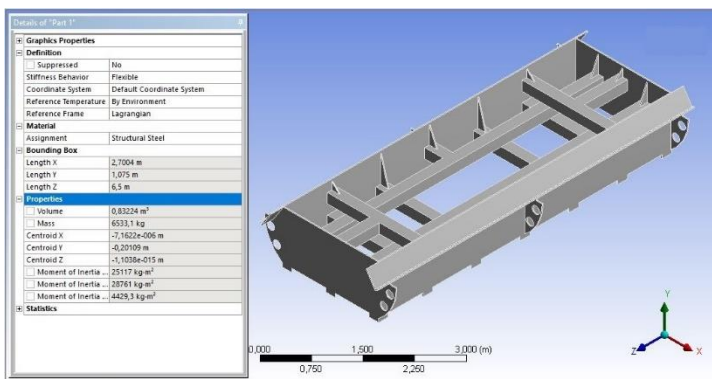
Dari pemodelan *laser carrier* tersebut didapatkan panjang sebesar 2,64 m, lebar sebesar 0,355 m, dan tinggi sebesar 0,87 m. Dengan material dari bagian laser carrier sendiri adalah *aluminium alloy* pada volume sebesar 0,13717 m³ maka didapatkan massa total sebesar 379,37 kg. Nilai-nilai tersebut dapat ditunjukkan seperti pada gambar dibawah :



Gambar 4.1. Gambar, dimensi, dan properties bagian laser carrier

VI.1.1. Laser table

Dari pemodelan *laser carrier* tersebut didapatkan panjang sebesar 6,5 m, lebar sebesar 2,7004 m, dan tinggi sebesar 1,075 m. Dengan material dari bagian laser table sendiri adalah Struktural steel pada volume sebesar 0,83224 m³ maka didapatkan massa total sebesar 6533,1 kg. Nilai-nilai tersebut dapat ditunjukkan seperti pada gambar dibawah :



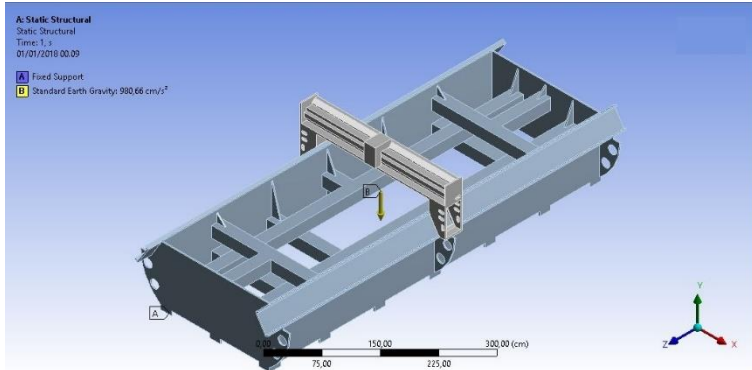
Gambar 4.2. Gambar, dimensi, dan properties bagian laser table

VI.2. Simulasi Statis

Pada simulasi statis ini akan dijelaskan tentang hasil yang didapatkan pada saat mesin laser cutting dalam kondisi diam. Sehingga beban yang bekerja hanya beban kearah vertikal saja. Hasil yang didapatkan dari simulasi ini adalah kekuatan bagian *tabel* dalam menerima gaya berat dari bagian *laser carrier*.

VI.2.1. *Boundary condition* pada Simulasi Statis

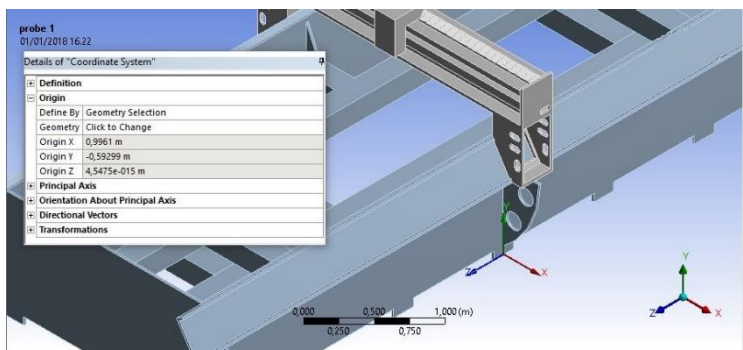
Pada simulasi statis ini beban yang bekerja adalah gaya gravitasi dan berat total pada masing-masing bagian pada mesin *fiber laser cutting* dengan *fixsupport* berada pada bagian kaki-kaki *table*. Sementara kontak yang terjadi antara bagian *laser carrier* dan *laser table* adalah *frictional* dengan nilai koefisien gesek statis sebesar 0,61. *Meshing* yang dilakukan untuk simulasi ini dilakukan dengan ukuran yaitu sebesar 5 cm dan 7,5 cm dengan menggunakan tipe elemen tetrahedon. Kondisi-kondisi tersebut dapat dijelaskan seperti pada gambar berikut :



Gambar 4.3. Gambar *Boundary condition* pada simulasi statis

Untuk Perbandingan hasil analisa pada simulasi statis sendiri ditentukan pada 1 posisi probe yang sama. Dari posisi probe tersebut dapat dibandingkan hasil analisa statis dengan menggunakan variasi ukuran meshing yang berbeda. Perbandingan

tersebut digunakan untuk mengetahui apakah hasil dari *meshing* yang dilakukan sudah benar. Adapun posisi probe yang digunakan adalah pada posisi bagian kaki tengah *table* dengan koordnat X sebesar 0,9961 m, Y sebesar -0,59299, dan Z sebesar 4,5475e-015 m,seperti penjelasan pada gambar di bawah :



Gambar 4.4. Gambar posisi probe 1 pada simulasi statis

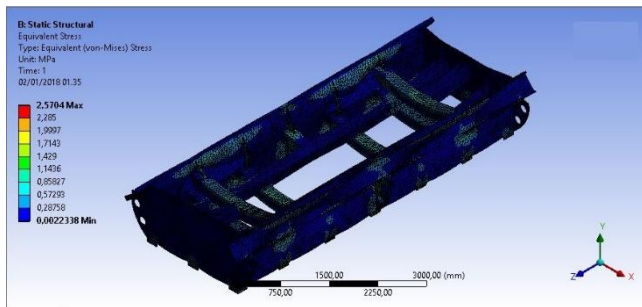
VI.2.2. Hasil Simulasi Statis

Pada proses *meshing* didapatkan data jumlah nodes dan elemen dari masing-masing ukuran *meshing*. Untuk ukuran *meshing* 5 cm didapatkan total jumlah elemen sebesar 138069 dan total jumlah nodes sebesar 270552, sementara itu untuk ukuran *meshing* 7,5 cm didapatkan total jumlah elemen sebesar 72265 dan total jumlah nodes sebesar 141909. Rincian dari hasil *meshing* tersebut dapat dijelaskan pada table dibawah :

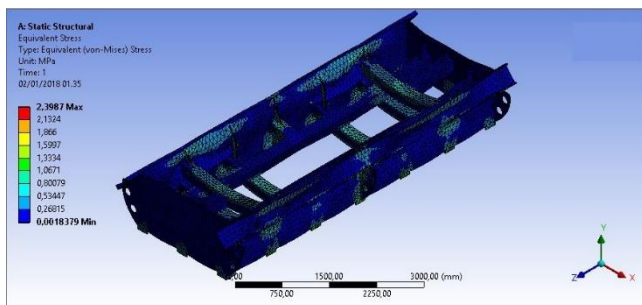
Tabel 4.1. Tabel hasil *meshing* simulasi statis

Ukuran meshing (cm)	Jumlah elemen		Total elemen	Jumlah nodes		Total nodes
	<i>Carrier</i>	<i>table</i>		<i>Carrier</i>	<i>table</i>	
5	25047	113022	138069	45533	225019	270552
7,5	16945	55320	72265	31647	110262	141909

Untuk hasil *equivalen stress* pada *table* akibat beban statis dari bagian *carrier* pada simulasi statis yang didapatkan hasil yang berbeda dari masing-masing ukuran *meshing* . Untuk ukuran *meshing* 5 cm didapatkan *maksimum equivalen stress* sebesar 2,5704 Mpa, *minimum equivalen stress* sebesar 0,0022338 Mpa, dan *equivalen stress* pada probe yang telah ditentukan sebesar 1,0305 Mpa. Sementara itu untuk ukuran *meshing* 7,5 cm didapatkan *maksimum equivalen stress* sebesar 2,3987 Mpa, *minimum equivalen stress* sebesar 0,0018379 Mpa, dan *equivalen stress* pada probe yang telah ditentukan sebesar 0,99556 Mpa. Hasil dari simulasi statis untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah :



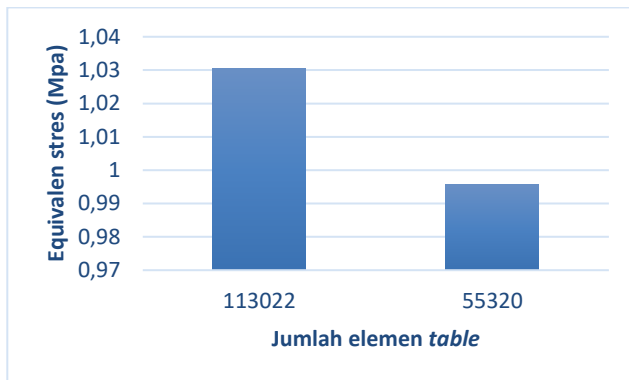
Gambar 4.5. Gambar hasil simulasi statis dengan ukuran *meshing* 5 cm



Gambar 4.6. Gambar hasil simulasi statis dengan ukuran *meshing* 7,5 cm

VI.2.3. Analisa Data Simulasi Statis

Dari kedua proses *meshing* ini dapat dilihat bahwa perbedaan jumlah elemen yang besar tidak mengakibatkan perubahan tegangan yang signifikan. Dengan jumlah perbedaan elemen yaitu 65804 didapatkan *equivalen stress* pada probe yang telah ditentukan terjadi tidak berubah terlalu besar. Prosentase perbedaan tegangan maksimum dari kedua proses tersebut yaitu 3,3 %. Prosentase tersebut didapatkan dari rumusan $(1,0305 - 0,99556) / 1,0305$. Oleh karena itu proses *meshing* tersebut telah *convergent*. Perbandingan jumlah elemen dan *equivalen stress* pada posisi probe yang sama dapat dijelaskan seperti pada grafik dibawah :



Gambar 4.7. Gambar Perbandingan jumlah *elemen table* dan *equivalen stress*

Untuk analisa kekuatan dari bagian *table* akibat beban statis dari bagian *carrier* digunakan nilai dari *maksimum equivalen stress* dengan ukuran *meshing* sebesar 5 cm. Analisa tersebut digunakan karena ukuran *meshing* 5 cm memiliki nilai *maksimum equivalen stress* yang lebih besar dari ukuran *meshing* 7,5 cm. Selain itu ukuran *meshing* 5 cm memiliki tingkat keakurasian lebih tinggi dibandingkan ukuran *meshing* 7,5 cm.

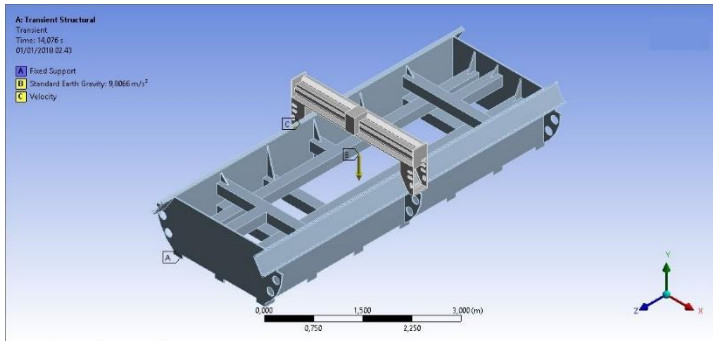
Dengan nilai *maksimum equivalen stress* sebesar 2,5704 Mpa, *Maksimum equivalen stress* yang terjadi dirasa masih sangat aman karena memiliki safety factor yang besar yaitu 15. Safety factor ini didapat dari perbandingan *ultimate yield strength* yang dimiliki oleh material *strutural steel* dengan nilai 250 Mpa. jadi untuk struktur *laser table* ini tidak akan mengalami kerusakan jika hanya dianalisa dengan menggunakan analisa statis.

VI.3. Simulasi Dinamis

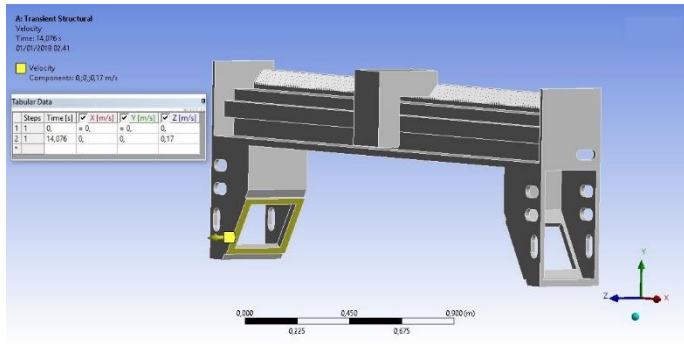
Pada simulasi dinamis ini akan dijelaskan tentang hasil yang didapatkan pada saat mesin laser cutting dalam kondisi bergerak. Sehingga beban yang bekerja adalah beban kearah vertikal dan juga beban kearah horisontal. Beban horisontal sendiri merupakan beban yang terjadi akibat perubahan kecepatan yang terjadi pada bagian *laser carrier*. Hasil yang didapatkan dari simulasi ini adalah kekuatan dan kekakuan bagian *tabel* dalam menerima gaya berat dan gaya gesek dari bagian *laser carrier*.

VI.3.1. *Boundary condition* pada Simulasi Dinamis

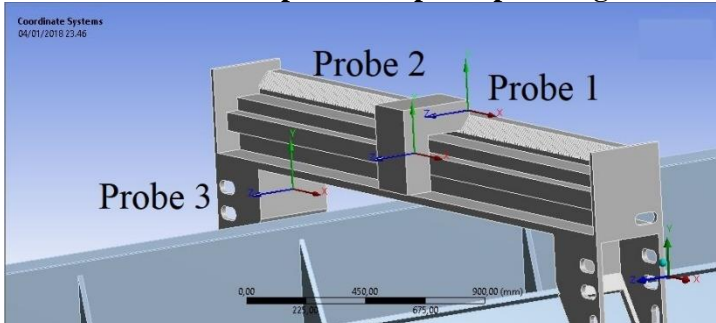
Pada simulasi dinamis ini beban yang bekerja adalah gaya gravitasi dan berat total pada masing-masing bagian pada mesin laser cutting serta beban perubahan kecepatan yang terjadi pada bagian *laser carrier* dengan fixsupport berada pada bagian kaki-kaki *table*. Sementara kontak yang terjadi antara bagian *laser carrier* dan *laser table* adalah *frictional* dengan nilai koefisien dinamis sebesar 0,47. Meshing yang dilakukan untuk simulasi ini dilakukan dengan ukuran yaitu sebesar 5 cm dengan menggunakan tipe elemen tetrahedon.



Gambar 4.8. Gambar *Boundary condition* pada simulasi dinamis



Gambar 4.9. Gambar posisi kecepatan pada bagian crane



Gambar 4.10. Gambar posisi probe 1, probe 2, dan probe 3

Beban perubahan kecepatan dari bagian laser carrier sendiri dibagi menjadi 2 yaitu beban percepatan dan beban perlambatan dimana dari masing-masing beban tersebut terjadi pada kecepatan 0 meter/menit hingga 72 meter/menit dan sebaliknya dengan interval 10 meter/menit. Pada beban perubahan kecepatan ini, diasumsikan bahwa *laser carrier* bergerak dengan menempuh jarak 1.25 meter. Parameter 1,25 meter ini didapat dari jarak yang ditempuh laser carrier. Panjang table yang digunakan memiliki panjang total 6 meter dengan asumsi 1 meter tidak digunakan karena menjadi tebal dari laser carrier dan casing dari table tersebut. Posisi base home dari laser carrier ini juga berada ditengah, jadi laser carrier bisa bergerak kedepan dan kebelakang dengan jarak maksimal 2,5 meter. Oleh karena itu laser carrier membutuhkan jarak 1,25 meter untuk percepatan dan 1,25 meter untuk perlambatan.

Variasi beban perubahan kecepatan yang digunakan sebagai parameter untuk melakukan simulasi dihitung dengan menggunakan rumus gerak lurus berubah beraturan. Dari rumus tersebut didapatkan hasil sebagai berikut :

Diketahui :

kecepatan awal (v_0) : 0 meter/menit = 0 m/sekon

Kecepatan akhir (v_t) : 10 meter/menit = 0,17 meter/sekon

Jarak (s) : 1,25 m.

Dengan menggunakan rumus :

$$v_t^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot s$$

Maka didapatkan percepatan sebesar :

$$a = \frac{v_t^2}{2 \cdot s + v_0^2}$$

$$a = \frac{(0,17)^2}{2 \cdot (1,25) + (0)^2}$$

$$a = 0,012 \text{ m/s}^2$$

Dan dengan menggunakan rumus :

$$v_t = v_0 + a \cdot t$$

Maka didapatkan waktu yang dibutuhkan sebesar:

$$t = \frac{v_t - v_0}{a}$$

$$t = \frac{(0,17) - (0)}{0,012}$$

$$t = 14,706 \text{ s}$$

Dari contoh perhitungan tersebut didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4.2. Tabel variasi beban percepatan

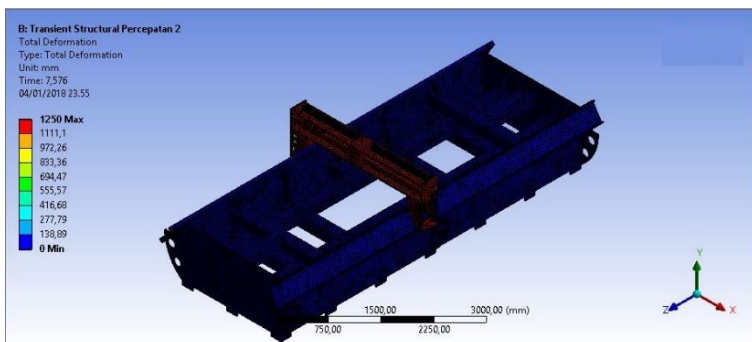
$v_o \text{ (m/s)}$	$v_t \text{ (m/s)}$	$a \text{ (m/s}^2\text{)}$	$t \text{ (s)}$
0	0,170	0,012	14,706
0	0,330	0,044	7,576
0	0,500	0,100	5,000
0	0,670	0,180	3,731
0	0,830	0,276	3,012
0	1,000	0,400	2,500
0	1,170	0,548	2,137
0	1,200	0,576	2,083

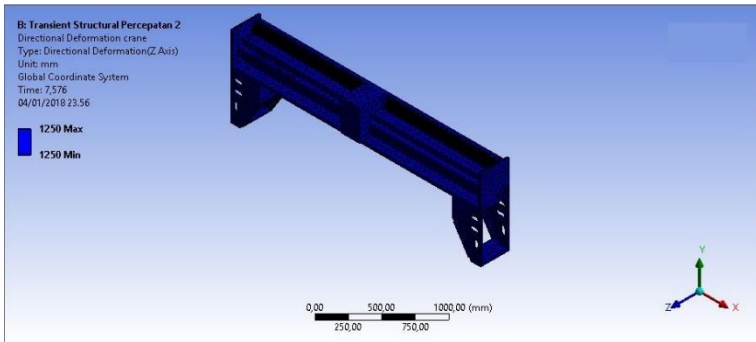
Tabel 4.3. Tabel variasi beban perlambatan

v_o (m/s)	v_t (m/s)	a (m/s ²)	t (s)
0,170	0	-0,012	14,706
0,330	0	-0,044	7,576
0,500	0	-0,100	5,000
0,670	0	-0,180	3,731
0,830	0	-0,276	3,012
1,000	0	-0,400	2,500
1,170	0	-0,548	2,137
1,200	0	-0,576	2,083

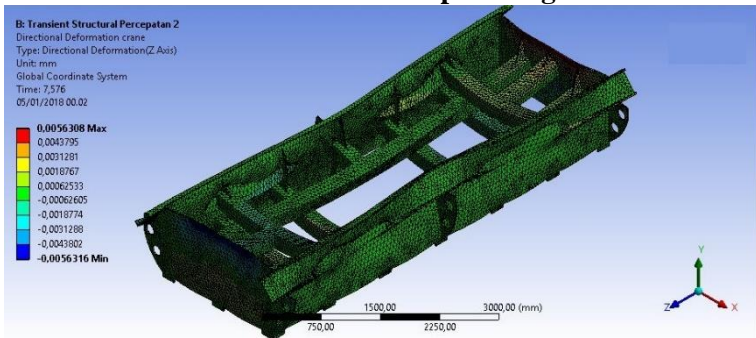
VI.3.2. Hasil Simulasi Dinamis

Pada hasil simulasi dinamis didapatkan data yaitu deformasi ke arah sumbu z, deformasi total, dan *equivalen stress* akibat beban perubahan kecepatan yang terjadi pada bagian carrier terhadap bagian tabel. Pada hasil simulasi tersebut di dilihat dari 3 probe dengan posisi yang berbeda-beda. Gambar hasil dari simulasi dinamis dan data dari masing-masing probe dapat dijelaskan sebagai berikut :

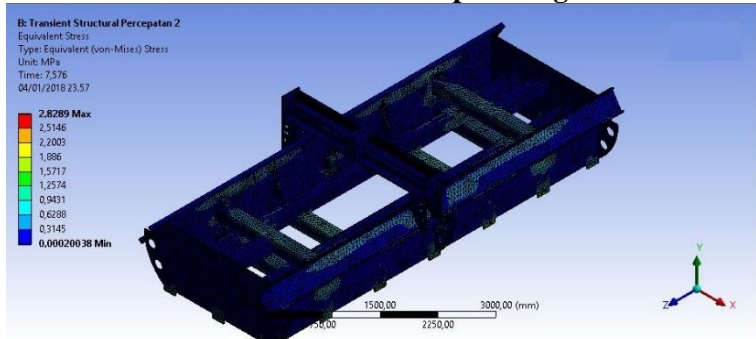
**Gambar 4.11. Gambar deformasi pada mesin laser cutting**



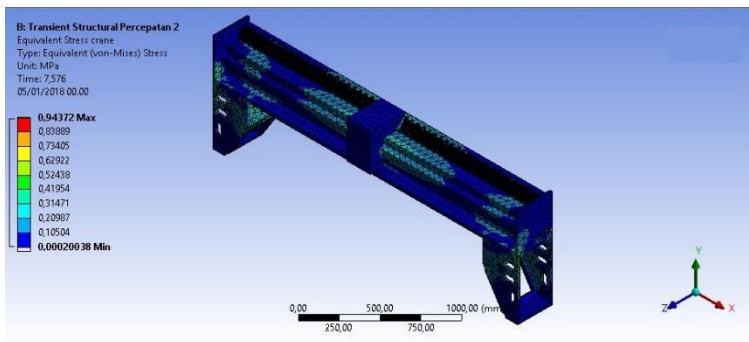
Gambar 4.12. Gambar deformasi pada bagian *laser carrier*



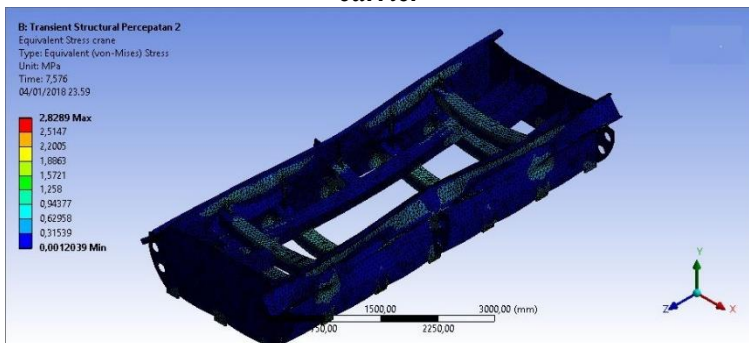
Gambar 4.13. Gambar deformasi pada bagian *laser table*



Gambar 4.14. Gambar *equivalen stress* pada mesin *laser cutting*



Gambar 4.15. Gambar *equivalen stress* pada bagian *laser carrier*



Gambar 4.16. Gambar *equivalen stress* pada bagian *laser table*

Tabel 4.4. Tabel hasil probe 1 akibat beban percepatan

Parameter	Hasil Simulasi		
Perubahan Kecepatan (m/s ²)	Deformasi arah z (mm)	Deformasi total (mm)	Von Misses (Mpa)
0,012	0,01320	0,00190	0,17390
0,044	0,01205	0,01251	0,18991
0,100	0,01281	0,01290	0,17408
0,180	0,01339	0,01390	0,18536

0,276	0,02540	0,01384	0,18218
0,400	0,01752	0,01456	0,17807
0,548	0,01707	0,01537	0,17325
0,576	0,02070	0,01553	0,17232

Tabel 4.5. Tabel hasil probe 1 akibat beban perlambatan

Parameter	Hasil Simulasi		
Perubahan Kecepatan (m/s ²)	Deformasi arah z (mm)	Deformasi total (mm)	Von Misses (Mpa)
-0,012	0,01320	0,01000	1,46880
-0,044	0,01196	0,02000	0,13695
-0,100	0,01290	0,06000	0,06685
-0,180	0,01332	0,13000	0,03646
-0,276	0,02332	0,19000	0,15493
-0,400	0,01779	0,28000	0,31056
-0,548	0,01664	0,39000	0,49521
-0,576	0,02651	0,41000	0,53101

Tabel 4.6. Tabel hasil probe 2 akibat beban percepatan

Parameter	Hasil Simulasi		
Perubahan Kecepatan (m/s ²)	Deformasi arah z (mm)	Deformasi total (mm)	Von Misses (Mpa)
0,012	0,00942	0,01100	0,05970
0,044	0,00894	0,01122	0,07680
0,100	0,00909	0,01100	0,05658
0,180	0,00995	0,01382	0,07988
0,276	0,02513	0,01140	0,08203

0,400	0,01283	0,01180	0,08480
0,548	0,01415	0,01230	0,08804
0,576	0,02658	0,01310	0,08866

Tabel 4.7. Tabel hasil probe 2 akibat beban perlambatan

Parameter	Hasil Simulasi		
Perubahan Kecepatan (m/s ²)	Deformasi arah z (mm)	Deformasi total (mm)	Von Misses (Mpa)
-0,012	0,00960	0,07970	0,88602
-0,044	0,00847	0,02000	0,11932
-0,100	0,00913	0,03000	0,17587
-0,180	0,00956	0,04000	0,25569
-0,276	0,02488	0,06000	0,35198
-0,400	0,01328	0,09000	0,47679
-0,548	0,01257	0,12000	0,62468
-0,576	0,02414	0,12000	0,65334

Tabel 4.8. Tabel hasil probe 3 akibat beban percepatan

Parameter	Hasil Simulasi		
Perubahan Kecepatan (m/s ²)	Deformasi arah z (mm)	Deformasi total (mm)	Von Misses (Mpa)
0,012	0,00170	0,00230	0,37680
0,044	0,00141	0,00233	0,45763
0,100	0,00142	0,00230	0,39984
0,180	0,00211	0,00230	0,46079
0,276	0,01451	0,00244	0,46322
0,400	0,00712	0,00251	0,46659

0,548	0,00523	0,00257	0,47092
0,576	0,01803	0,00259	0,47180

Tabel 4.9. Tabel hasil probe 3 akibat beban perlambatan

Parameter	Hasil Simulasi		
Perubahan Kecepatan (m/s^2)	Deformasi arah z (mm)	Deformasi total (mm)	Von Misses (Mpa)
-0,012	0,01300	0,00000	2,13480
-0,044	0,00160	0,00000	0,53331
-0,100	0,00751	0,01000	0,69107
-0,180	0,00211	0,01000	0,96530
-0,276	0,00301	0,01000	1,32770
-0,400	0,01752	0,02000	1,81670
-0,548	0,00543	0,03000	2,40740
-0,576	0,00493	0,03000	2,52260

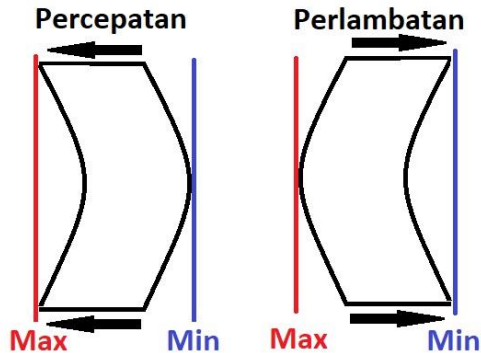
Metode pengambilan data deformasi sendiri dilakukan dengan cara menghitung perpindahan yang terjadi pada bagian *laser carrier*, hal ini dikarenakan pembacaan probe pada hasil simulasi tidak langsung menunjukkan nilai dari deformasi. Sehingga nilai deformasi setiap probe dihitung dari :

1. Untuk beban percepatan :

Deformasi probe = perubahan posisi maksimal - perubahan posisi probe

2. Untuk beban perlambatan :

Deformasi probe = perubahan posisi probe - perubahan posisi minimal



Gambar 4.17. Gambar tampak atas deformasi pada bagian *carrier*

Dari data diatas akan dianalisa mengenai kemampuan dari mesin *laser cutting* ketika bagian dari *table* terkena beban dinamis dari bagian *laser carrier*. Kemampuan tersebut meliputi kekuatan yang analisa dari nilai *equivalen stress* dan kekakuan yang dianalisa dari nilai deformasi.

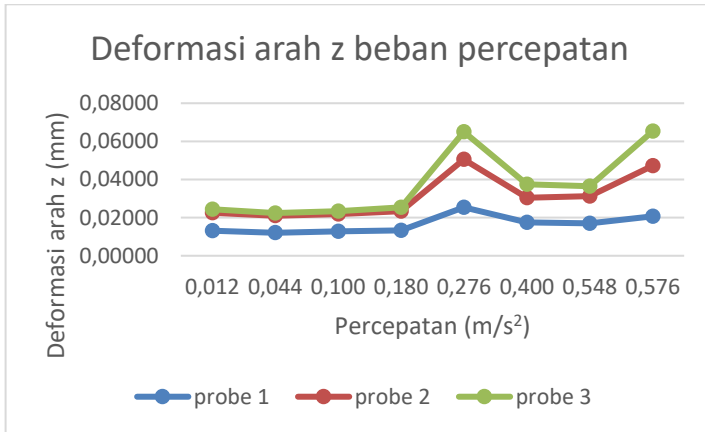
VI.3.3. Analisa Data Simulasi Dinamis

Analisa dari data simulasi dinamis dilakukan dengan membandingkan masing-masing probe dengan posisi yang berbeda-beda terhadap beban percepatan maupun beban perlambatan.

Dari perbandingan tersebut didapatkan nilai dari deformasi ke arah *z*, deformasi total, dan *equivalen stress* dari masing-masing probe terhadap masing-masing beban perubahan kecepatan. Selain dilakukan analisa pada masing-masing probe juga akan dilakukan analisa pada bagian dari *table* sendiri. Sehingga dapat diketahui kekuatan dan kekakuan dari mesin *laser cutting* yang dinyatakan dalam deformasi ke arah *z* maksimal, deformasi total maksimal, dan *maximum equivalen stress*.

VI.3.3.1. Deformasi arah z pada beban percepatan

Pada analisa ini akan dilakukan perbandingan deformasi ke arah z pada masing-masing probe terhadap setiap beban percepatan. Dari analisa tersebut akan didapatkan nilai deformasi ke arah z maksimal yang terjadi di masing-masing probe pada salah satu nilai beban percepatan.



Gambar 4.18. Gambar grafik deformasi z beban percepatan

Dari grafik di atas didapatkan nilai deformasi ke arah sumbu z pada ketiga probe cenderung konstan mulai dari percepatan 0,012 m/s^2 hingga 0,180 m/s^2 . Selanjutnya pada percepatan 0,276 m/s^2 mengalami kenaikan dan pada percepatan 0,400 m/s^2 mengalami penurunan kemudian kembali naik pada kecepatan akhir yaitu 0,576 m/s^2 . Deformasi terbesar sendiri terjadi pada probe 1 saat percepatan 0,044 m/s^2 dengan deformasi sebesar 0,01205 mm dan deformasi terkecil berada probe 3 pada percepatan 0,276 m/s^2 dengan deformasi sebesar 0,00522 mm.

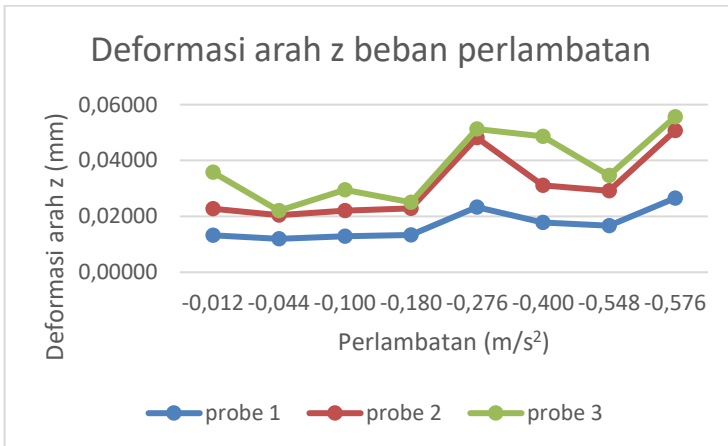
Dari penjelasan di atas didapatkan grafik dengan gradien yang tidak konstan. Hal tersebut dikarenakan pembacaan dari setiap probe sendiri tidak langsung menunjukkan nilai deformasi akan tetapi menunjukkan nilai dari perubahan posisi dari setiap waktu. Selain itu pengambilan data dilakukan tidak pada kondisi

substep yang sama. Pengambilan data dari *substep* yang berbeda-beda tersebut dikarenakan pada akhir *step* atau *t* akhir pada bagian *carrier* tidak terjadi deformasi sama sekali.

Sementara itu posisi probe 2 yang dijadikan acuan untuk tingkat keakurasian dari mesin laser cutting sendiri dikarenakan berada pada posisi dimana laser box menempel memiliki nilai deformasi terbesar yaitu 0,02413 mm pada percepatan sebesar -0,276 m/s². Nilai deformasi tersebut masih terbilang aman karena parameter mmaksimal yang ditentukan adalah sebesar 25,4 μ m atau 0,0254 mm

VI.3.3.2. Deformasi arah z pada beban perlambatan

Pada analisa ini akan dilakukan perbandingan deformasi ke arah z pada masing-masing probe terhadap setiap beban perlambatan. Dari analisa tersebut akan didapatkan nilai deformasi ke arah z maksimal yang terjadi di masing-masing probe pada salah satu nilai beban perlambatan.



Gambar 4.19. Gambar grafik deformasi z beban perlambatan

Dari grafik di atas didapatkan nilai deformasi ke arah sumbu z didapatkan nilai deformasi yang cenderung konstan pada probe 1 dan probe 2 pada saat perlambatan -0,012 m/s² hingga -0,180 m/s².

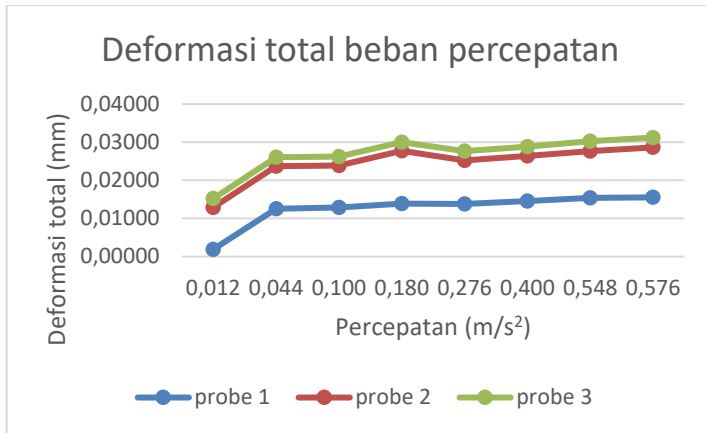
Sementara itu pada probe 3 pada saat perlambatan yang sama memiliki nilai deformasi yang tidak konstan. Pada saat perlambatan $-0,276 \text{ m/s}^2$ ketiga probe tersebut mengalami kenaikan kemudian mengalami penurunan hingga perlambatan $-0,548 \text{ m/s}^2$. Pada saat perlambatan $-0,576 \text{ m/s}^2$ ketiga probe tersebut mengalami kenaikan.

Dari penjelasan diatas didapatkan grafik dengan gradien yang tidak konstan. Hal tersebut dikarenakan pembacaan dari setiap probe sendiri tidak langsung menunjukkan nilai deformasi akan tetapi menunjukkan nilai dari perubahan posisi dari setiap waktu. Selain itu pengambilan data dilakukan tidak pada konsidi *substep* yang sama. Pengambilan data dari *substep* yang berbeda-beda tersebut dikarenakan pada akhir *step* atau *t* akhir pada bagian *carrier* tidak terjadi deformasi sama sekali.

Sementara itu posisi probe 2 yang dijadikan acuan untuk tingkat keakurasian dari mesin laser cutting sendiri dikarenakan berada pada posisi dimana laser box menempel memiliki nilai deformasi terbesar yaitu $0,02488 \text{ mm}$ pada percepatan sebesar $0,044 \text{ m/s}^2$. Nilai deformasi tersebut masih terbilang aman karena parameter maksimal yang ditentukan adalah sebesar $25,4 \text{ }\mu\text{m}$ atau $0,0254 \text{ mm}$

VI.3.3.3. Deformasi total pada beban percepatan

Pada analisa ini akan dilakukan perbandingan deformasi total pada masing-masing probe terhadap setiap beban percepatan. Dari analisa tersebut akan didapatkan nilai deformasi total maksimal yang terjadi di masing-masing probe apakah sudah sesuai dengan teori yang ada.



Gambar 4.20. Gambar grafik deformasi total beban percepatan

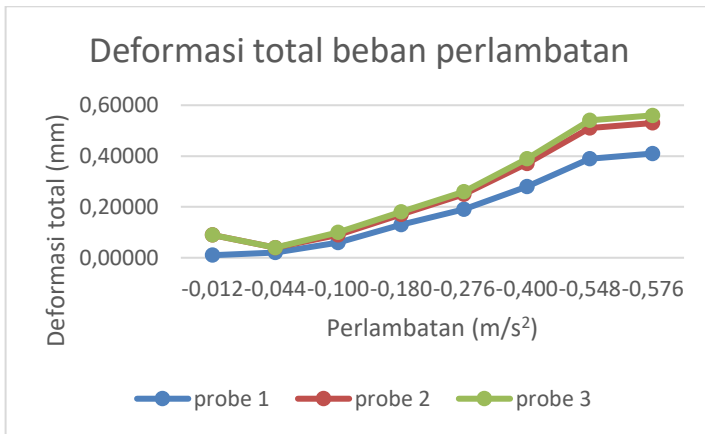
Dari grafik di atas didapatkan nilai dari deformasi yang cenderung mengalami kenaikan yang sama pada semua probe. Kenaikan terbesar terjadi pada percepatan $0,012 \text{ m/s}^2$ hingga $0,044 \text{ m/s}^2$, hal tersebut terjadi pada semua probe. Sementara pada percepatan $0,44 \text{ m/s}^2$ hingga percepatan $0,576 \text{ m/s}^2$ semua probe mengalami kenaikan yang sangat kecil.

Dengan menggunakan persamaan deformasi total secara dasar ($\frac{d^2v}{dx^2} = \frac{M}{EI}$), dimana semakin besar gaya maka deformasi total yang terjadi akan semakin besar juga. Maka hasil dari simulasi tersebut sudah sesuai dengan teori, hal ini terjadi pada semua probe yaitu probe 1, probe 2, dan probe 3.

Dari penjelasan diatas probe 3 memiliki nilai deformasi yang lebih kecil dibandingkan probe 1 dan probe 2. Hal ini dikarenakan posisi probe 3 yang paling dekat dengan posisi dari beban percepatan. Sebaliknya probe 1 memiliki tingkat deformasi yang lebih kecil dikarenakan posisi probe 1 paling jauh dari posisi beban percepatan.

VI.3.3.4. Deformasi total pada beban perlambatan

Pada analisa ini akan dilakukan perbandingan deformasi total pada masing-masing probe terhadap setiap beban perlambatan. Dari analisa tersebut akan didapatkan nilai deformasi total yang terjadi pada masing-masing probe apakah sudah sesuai dengan teori yang ada.



Gambar 4.21. Gambar grafik deformasi total beban perlambatan

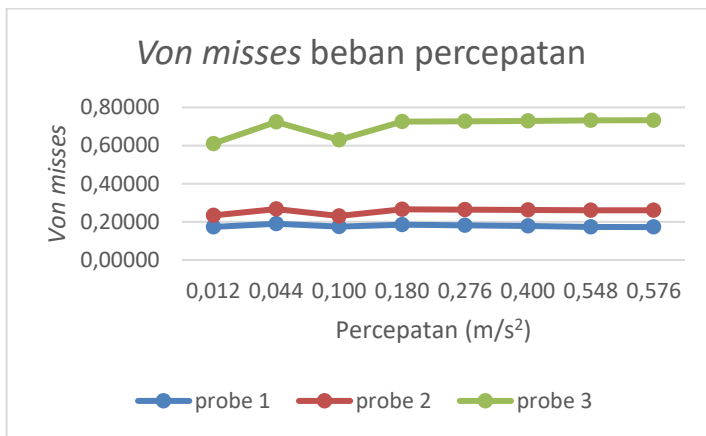
Dari grafik di atas didapatkan nilai dari deformasi yang cenderung mengalami kenaikan yang sama pada semua probe. Kenaikan tersebut terjadi mulai dari perlambatan $-0,044 \text{ m/s}^2$ hingga perlambatan maksimum yaitu $-0,576 \text{ m/s}^2$. Kecuali pada probe 2 dan probe 3 pada saat perlambatan $-0,012 \text{ m/s}^2$ hingga perlambatan $-0,044 \text{ m/s}^2$ nilai deformasi mengalami penurunan.

Dengan menggunakan persamaan deformasi total secara dasar ($\frac{d^2v}{dx^2} = \frac{M}{EI}$), dimana semakin besar gaya maka deformasi total yang terjadi akan semakin besar juga. Maka hasil dari simulasi tersebut sudah sesuai dengan teori, hal ini terjadi pada semua probe yaitu probe 1, probe 2, dan probe 3.

Dari penjelasan diatas probe 3 memiliki nilai deformasi yang lebih kecil dibandingkan probe 1 dan probe 2. Hal ini dikarenakan posisi probe 3 yang paling dekat dengan posisi dari beban percepatan. Sebaliknya probe 1 memiliki tingkat deformasi yang lebih kecil dikarenakan posisi probe 1 paling jauh dari posisi beban percepatan.

VI.3.3.5. *Equivalen stress* pada beban percepatan

Pada analisa ini akan dilakukan perbandingan *equivalen stress* pada masing-masing probe terhadap setiap beban percepatan. Dari analisa tersebut akan didapatkan nilai *equivalen stress* yang terjadi pada masing-masing probe pada salah satu nilai beban percepatan. Sehingga dapat diketahui struktur dari mesin laser cutting sendiri aman atau tidak.



Gambar 4.22. Gambar grafik *equivalen stress* beban percepatan

Dari grafik di atas didapatkan nilai *equivalen stress* yang cenderung konstan dari percepatan awal hingga akhir. Kenaikan dan penurunan yang terjadi pada nilai *equivalen stress* sendiri tidak terlalu besar. Hal tersebut terjadi pada semua posisi probe.

Pada analisa kekuatan dengan beban percepatan laser carrier dapat dilakukan analisa Dengan persamaan von mises:

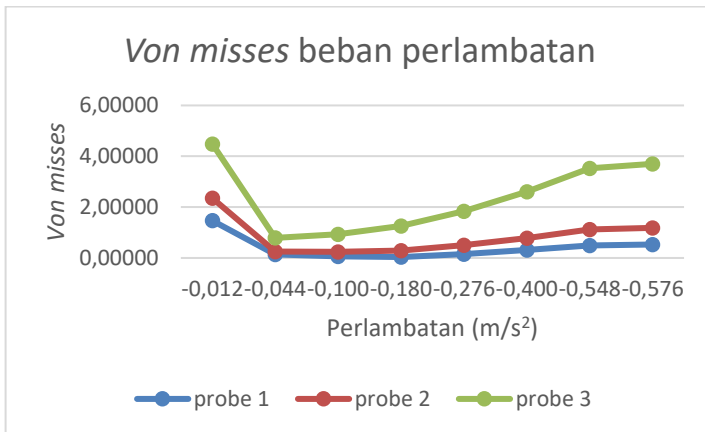
$$\sigma_{eqv} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6 \cdot (\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) \right]^{1/2}$$

Dari persamaan diatas kemudian diselesaikan dengan menggunakan metode numerik sehingga dapat diketahui nilai dari masing-masing probe. Nilai *equivalen stress* terbesar sendiri terjadi pada probe 3, hal ini dikarenakan probe 3 berada pada posisi paling dekat dengan beban percepatan dan juga tumpuan.

Dari data yang dihasilkan yaitu von mises terbesar senilai 0,4718 Mpa. Von mises yang terjadi dirasa masih sangat aman karena memiliki safety factor yang besar yaitu 15 Safety factor ini didapat dari perbandingan ultimate tensile strength yang dimiliki oleh material Aluminium alloy dengan nilai 310 Mpa.

VI.3.3.6. *equivalen stress* pada beban perlambatan

Pada analisa ini akan dilakukan perbandingan *equivalen stress* pada masing-masing probe terhadap setiap beban perlambatan. Dari analisa tersebut akan didapatkan nilai *equivalen stress* yang terjadi pada masing-masing probe pada salah satu nilai beban perlambatan. Dari analisa yang dilakukan didapatkan grafik seperti gambar dibawah :



Gambar 4.23. Gambar grafik *equivalen stress* beban perlambatan

Dari grafik di atas didapatkan nilai *equivalen stress* yang mengalami penurunan saat perlambatan $-0,012 \text{ m/s}^2$ hingga perlambatan $-0,044 \text{ m/s}^2$, hal tersebut terjadi pada semua probe. Selanjutnya mulai dari perlambatan $-0,044 \text{ m/s}^2$ hingga perlambatan $-0,576 \text{ m/s}^2$ probe 1 dan probe 2 mengalami kenaikan yang cenderung kecil, sementara probe 3 mengalami kenaikan yang cukup besar.

Pada analisa kekuatan dengan beban percepatan laser carrier dapat dilakukan analisa Dengan persamaan von mises:

$$\sigma_{eqv} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6 \cdot (\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) \right]^{1/2}$$

Dari persamaan diatas kemudian diselesaikan dengan menggunakan metode numerik sehingga dapat diketahui nilai dari masing-masing probe. Nilai *equivalen stress* terbesar sendiri terjadi pada probe 3, hal ini dikarenakan probe 3 berada pada posisi paling dekat dengan beban percepatan dan juga tumpuan.

Dari data yang dihasilkan yaitu *von mises* terbesar senilai 2,523. *Von mises* yang terjadi dirasa masih sangat aman karena memiliki *safety factor* yang besar yaitu 15 *Safety factor* ini didapat dari perbandingan *ultimate tensile strength* yang dimiliki oleh material Aluminium alloy dengan nilai 310 Mpa.

VI.3.3.7. *Equivalen stress* dan deformasi pada bagian table

Pada analisa ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan dari bagian *table* dari mesin *laser cuting* akibat beban dinamis dari bagian *carrier*. Kemampuan yang akan dianalisa antara lain adalah kekuatan yang dinyatakan dengan *maximum equivalen stress* dan kekakuan yang dinyatakan dengan deformasi maksimal. Analisai tersebut dapat dijelaskan seperti pada tabel berikut :

Tabel 4.10. Tabel deformasi dan von misses bagian *table*

	Deformasi arah z (mm)	Deformasi total (mm)	Von Misses (Mpa)
Minimal	-0,00563	0,0000	0,0012
Maksimal	0,00563	0,0297	2,8300

Dari data tersebut didapatkan nilai deformasi ke arah z sebesar 0,00563 mm dan total deformasi maksimal sebesar 0,02977 mm. Karena nilai tersebut hanya dilihat dari bagian *table* saja, sehingga tidak dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan keakurasian dari mesin *laser cutting*. Hal tersebut dikarenakan nilai deformasi tersebut tidak langsung terkena pada bagian *laser carrier*.

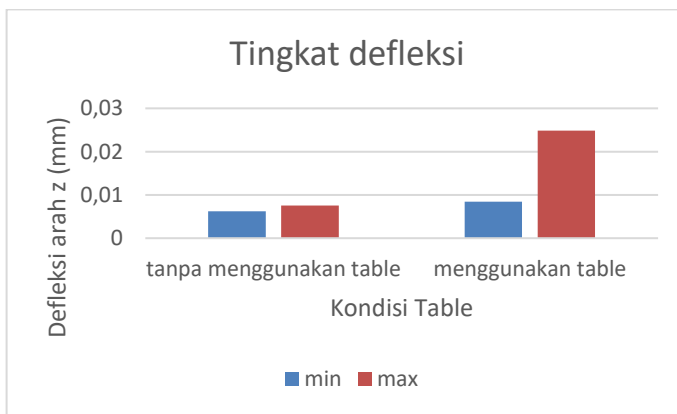
Sementara itu untuk kekuatan sendiri dinyatakan dengan *von mises* terbesar senilai 2,830. *Von mises* yang terjadi dirasa masih sangat aman karena memiliki *safety factor* yang besar yaitu 15. *Safety factor* ini didapat dari perbandingan *ultimate tensile strength* yang dimiliki oleh material *Structural steel* dengan nilai 460 Mpa.

VI.3.4. Analisa Perbandingan Kondisi *table*

Pada analisa ini akan dilakukan perbandingan deformasi ke arah z ketika pada kondisi tanpa *tabel* dimana tumpuan dari bagian *laser carrier* dianggap *rigid* sehingga tidak mengalami deformasi dan pada kondisi menggunakan *table* dimana tumpuan dari *laser carrier* memungkinkan terjadinya deformasi ketika diberi beban perubahan kecepatan. Perbandingan ini dilakukan dengan menggunakan parameter tingkat keakurasian yang dinyatakan dengan deformasi ke arah z. Untuk hasil lebih jelas dapat dipaparkan pada tabel dan grafik seperti berikut :

Tabel 4.11. Tabel hasil *table* untuk Deformasi z maksimal

Kondisi analisa	Tingkat deformasi arah z	
	Min (mm)	Max (mm)
Tanpa menggunakan table	0,00621	0,00752
Menggunakan table	0,00847	0,02488
Selisih deformasi arah z	0,00226	0,01661

**Gambar 4.24. Grafik perbandingan kondisi *table***

Dari analisa tersebut didapatkan perbedaan nilai deformasi maksimal arah z pada masing-masing probe antara menggunakan *table* dan tanpa menggunakan *table*. Tingkat deformasi maksimal ketika menggunakan *table* memiliki nilai lebih besar dari pada ketika tanpa menggunakan *table*. Begitu juga dengan Tingkat deformasi minimal ketika menggunakan *table* memiliki nilai lebih besar dari pada ketika tanpa menggunakan *table*. Selisih tingkat deformasi maksimal didapatkan nilai sebesar 0,01661 mm dan Selisih tingkat deformasi minimal didapatkan nilai sebesar 0,00226 mm.

Selisih dari nilai tingkat deformasi maksimal dan minimal antara tanpa menggunakan *table* dan dengan menggunakan *table* dikarenakan adanya deformasi ke arah z dari bagian *table* sendiri yang mengakibatkan tingkat dari keakurasian mesin *laser cutting* tersebut menurun. Sehingga dari data di atas selisih tingkat deformasi yang didapat merupakan nilai deformasi ke arah sumbu z dari bagian *laser carrier* yang dipengaruhi oleh gaya gesek yang ditimbulkan dari kontak dengan bagian *table*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab 5 ini akan dijelaskan mengenai kesimpulan yang didapatkan dari penelitian kali ini dan saran yang digunakan untuk melakukan penelitian selanjutnya. Adapun kesimpulan dan saran dari penelitian ini antara lain adalah :

V.1. Kesimpulan

kesimpulan yang digunakan pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut :

1. Didapatkan hasil pemodelan *laser carrier* dengan dimensi yaitu : panjang sebesar 2,64 m, lebar sebesar 0,355 m, dan tinggi sebesar 0,87 m. Dan hasil pemodelan *table* dengan dimensi panjang sebesar 6,5 m, lebar sebesar 2,7004 m, dan tinggi sebesar 1,075 m.
2. *Boundary condition* dari penelitian ini antara lain adalah : tumpuan yang diletakkan pada bagian kaki-kaki dari *table*, gaya berat dari masing-masing bagian dari mesin *laser cutting*, kecepatan *laser carrier* bergerak yaitu dari 0 meter/menit hingga 72 meter /menit dan sebaliknya, serta kontak yang terjadi antara bagian *carrier* dengan material *aluminium* dan bagian *table* dengan material *steel* sebesar 0,61 untuk koefisien gesek statis dan 0,47 untuk koefisien dinamis.
3. Nilai deformasi tertinggi dari pemodelan mesin *laser cutting* yaitu sebesar 0,02488 mm pada perlambatan $-0,276 \text{ m/s}^2$, nilai tersebut masih lebih kecil daripada parameter yang ditentukan yaitu 0,0254 mm. Untuk kekuatan dari bagian *table* mampu menerima beban statis maupun dinamis dengan nilai *safety factor* sebesar 15.
4. Tingkat deformasi dari mesin *laser cutting* pada saat dianalisa menggunakan *table* lebih tinggi dari pada saat analisa dengan tidak menggunakan *table*. Hal ini

dikarenakan deformasi yang terjadi pada bagian dari *laser carrier* dipengaruhi oleh gaya gesek yang terjadi akibat kontak yang terjadi antara bagian *laser carrier* dengan bagian *table*.

VI..2. Saran

Saran yang digunakan pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut :

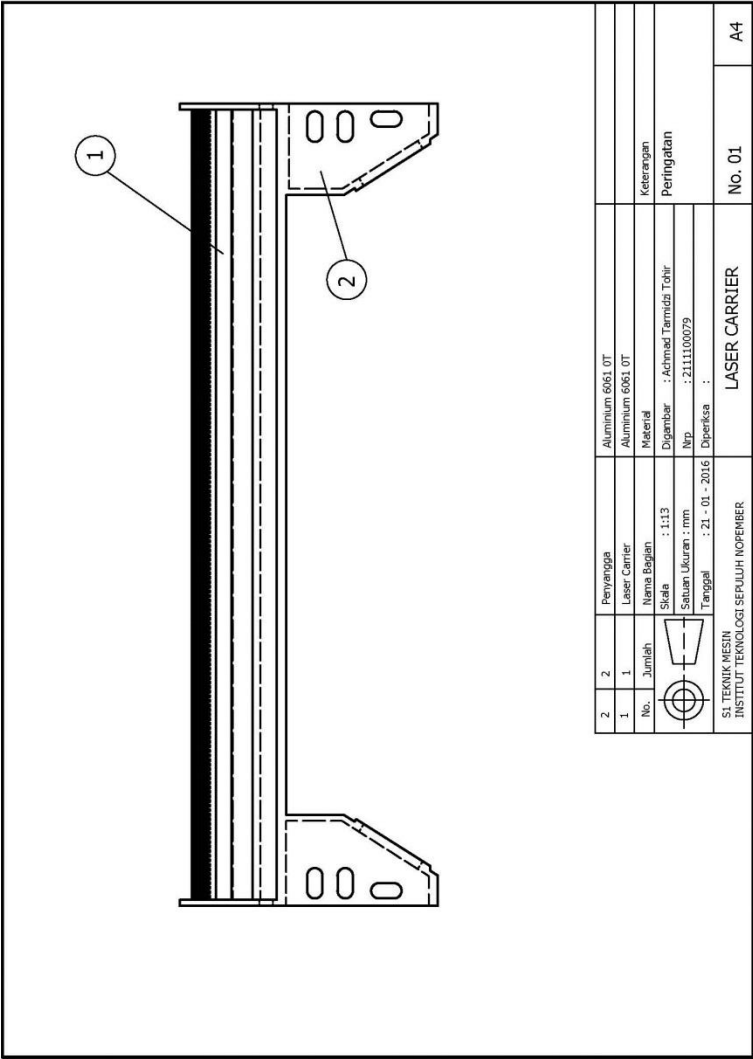
1. Diperlukan analisa optimasi untuk desain dari struktur bagian dari *table* dikarenakan nilai *safety factor* yang terlalu besar.
2. Diperlukan analisa lebih lanjut untuk mengetahui kegagalan dari struktur mesin *laser cutting* tersebut akibat beban *fatigue*.
3. Diperlukan analisa lebih lanjut untuk memodelkan sistem transmisi yang digunakan untuk mendorong bagian dari *laser carrier*.

DAFTAR PUSTAKA

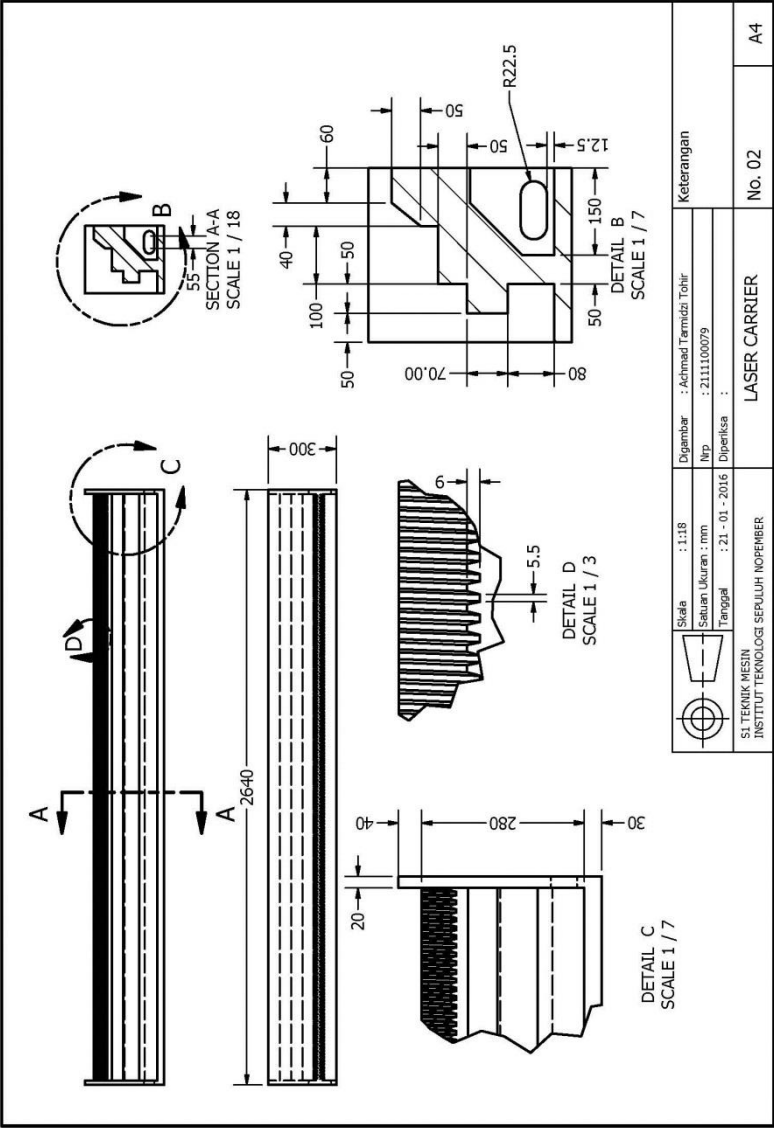
- [1] Yusron Sugiarto.2012 .**Modul 3 Pemotongan Plat**, Malang. Universitas Brawijaya.
- [2] Taufik Rochim .1990. Teori & Teknologi Proses Peremesinan. Bandung. Proyek HEDS
- [3] Laser. Diakses tanggal 2 September 2017.
<http://toekangengineer.blogspot.co.id/2014/06/laser.html>
- [4] Berbagai Jenis Tipe Mesin Laser Cutting, Marking, Engraving. Diakses tanggal 2 September 2017.
www.deprintz.com/news/43/Berbagai-Jenis-Tipe-Mesin-Laser-Cutting-Marking-Engraving
- [5] Cook Robert, 1995. *Finite Element Modeling For Stress Analysis*. John Wiley and Sons.
- [6] R.C Hibbeler. 2010. **Mechanics of Material**, Prentice Hall.
- [7] Chapter II. Diakses tanggal 2 September 2017.
<http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/20759/4/Chapter%20II.pdf>
- [8] Susatio, Yerri , Ir. MT.(2004). **Dasar-Dasar Metode Elemen Hingga**. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- [9] Cook Robert, 1995. *Finite Element Modeling For Stress Analysis*. John Wiley and Sons.
- [10] R.C Hibbeler. 2010. **Engingeering Mechanics Dinamics Twelfth Edition**, Prentice Hall.
- [11] Stelzer S., Mahrle A., Wetzig A., Beyer E. 2013. *Experimental Investigations on Fusion Cutting Stainless with Fiber and CO₂ Laser Beams*. Germany, Published by Elsevier B.V. Open access under CC BY-NC-ND License.
- [12] Tarmidzi Tohir, Achmad (2016).**Studi tentang kekuatan dan kekakuan struktur laser carrier pada mesin fiber laser cutting**. Surabaya. Jurusan Teknik mesin fakultas teknologi industri institut teknologi sepuluh nopember.

- [13] Kumar, Ravi, V., P., Ch., Meher, Satya, R., Prof., 2013.
Topology Optimization Of Aluminium Alloy Wheel.
Andhra Pradesh. International Journal Of Modern
Engineering Research. Vol 3. Issue 3.
- [14] Engineershandbook . Coefficient of friction. Diakses pada
tanggal 6 oktober 2017
<http://www.engineershandbook.com/Tables/frictioncoefficients.html>
- [15] Richard Vaughn. The Difference between Cartesian, Six-
Axis, and SCARA Robots. Diakses tanggal 15 September
2017.<http://machinedesign.com/motioncontrol/difference-between-cartesian-six-axis-and-scara-robots>.

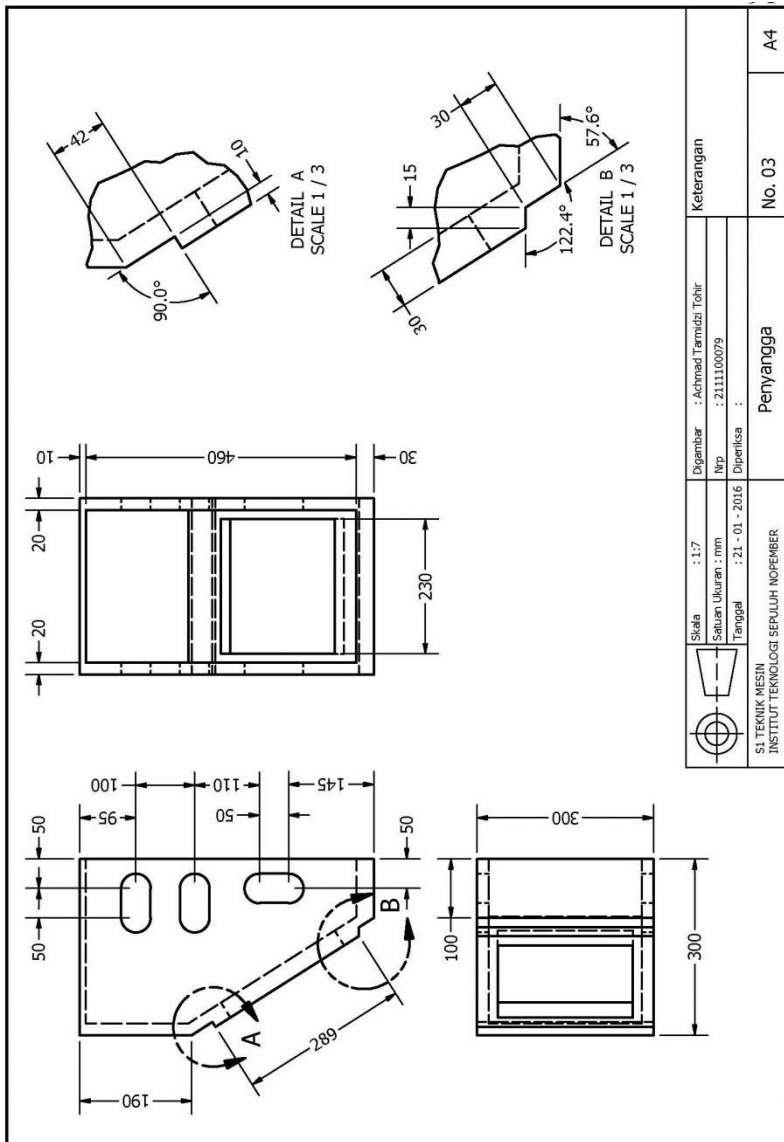
LAMPIRAN



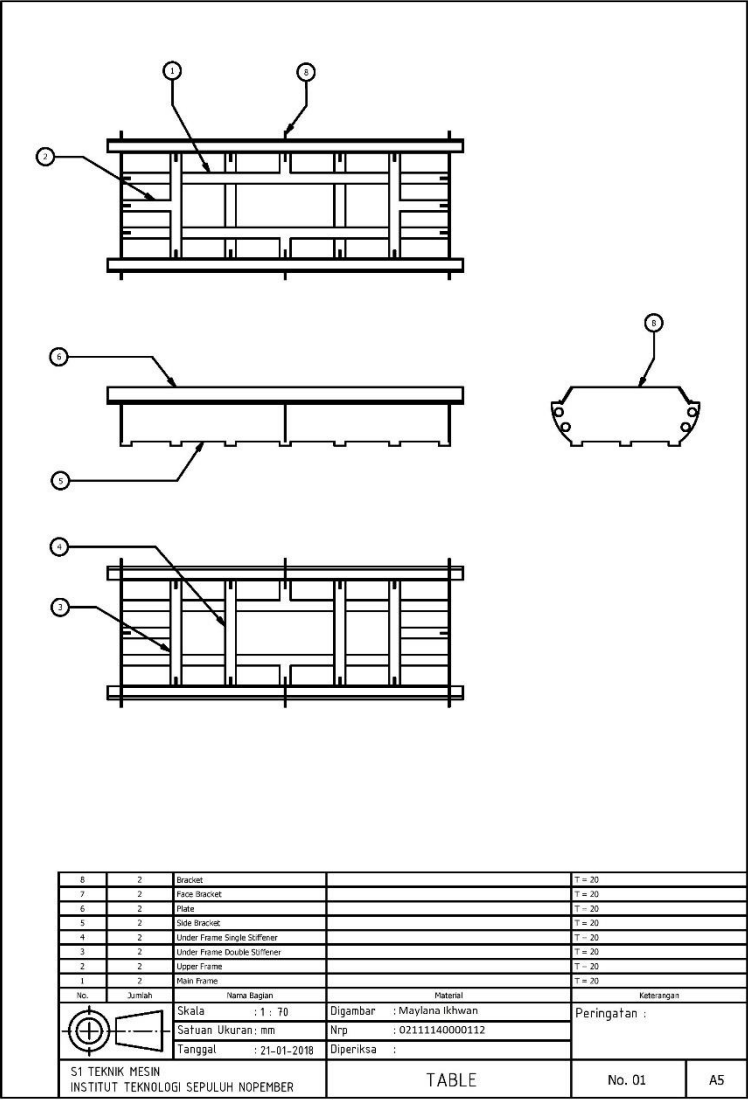
Gambar 1. Gambar teknik *laser carrier*



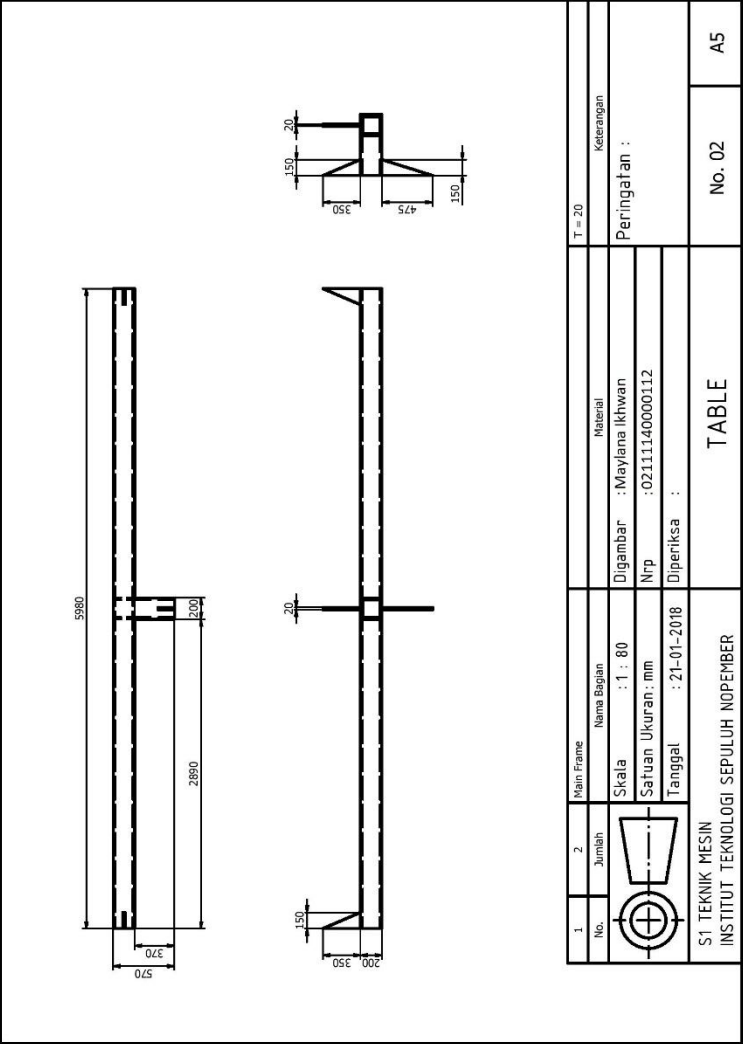
Gambar 2. Gambar teknik bagian 1 *laser carrier*



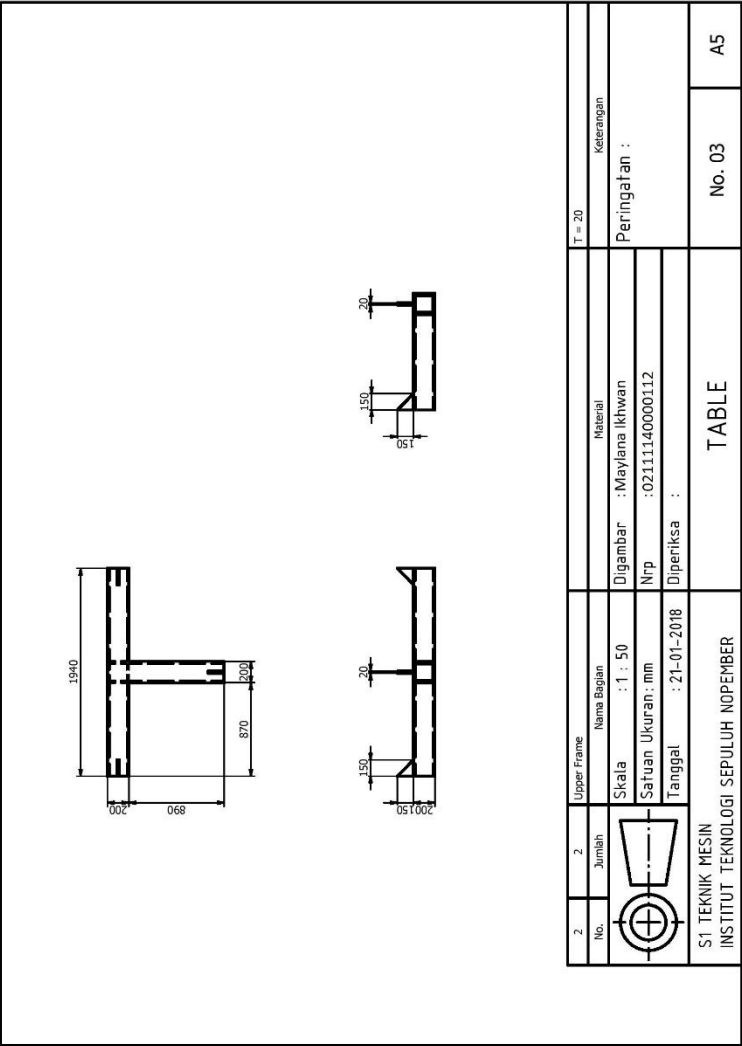
Gambar 3. Gambar teknik bagian 2 penyangga *laser carrier*



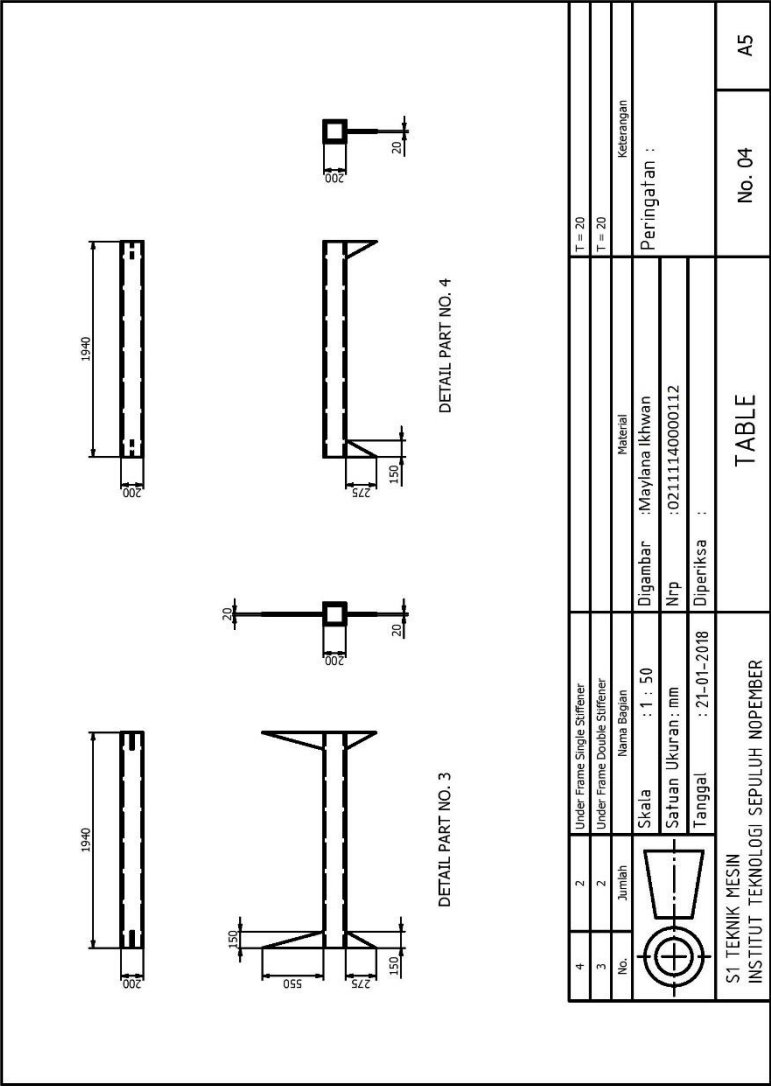
Gambar 4. Gambar teknik *laser table*



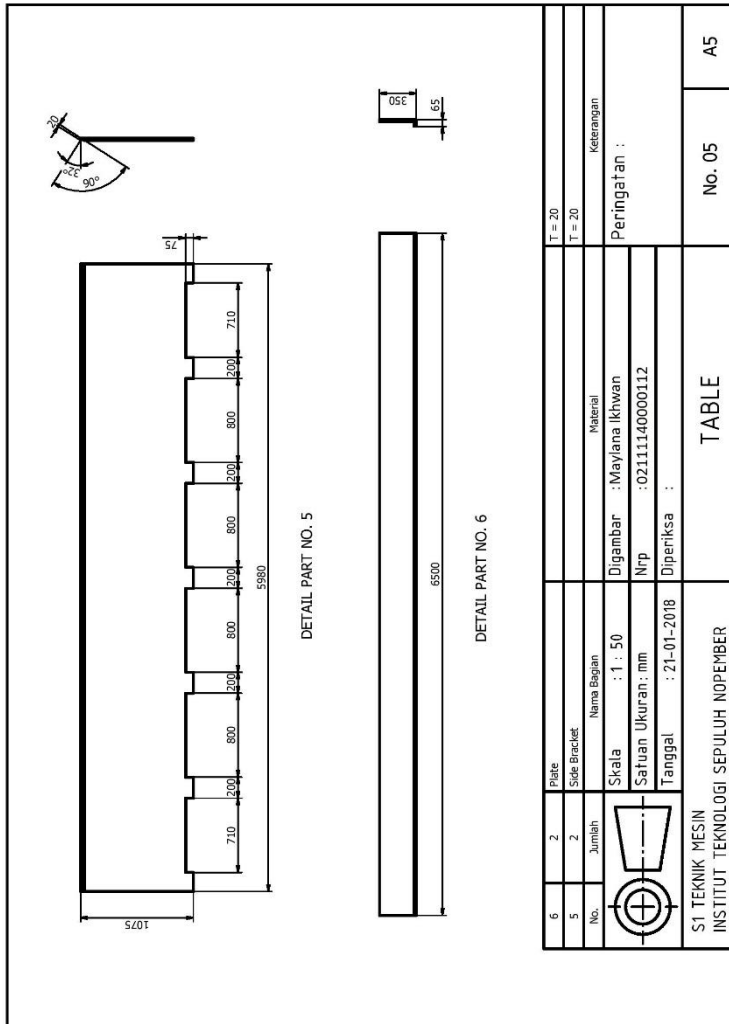
Gambar 5. Gambar teknik bagian 1 *laser table*



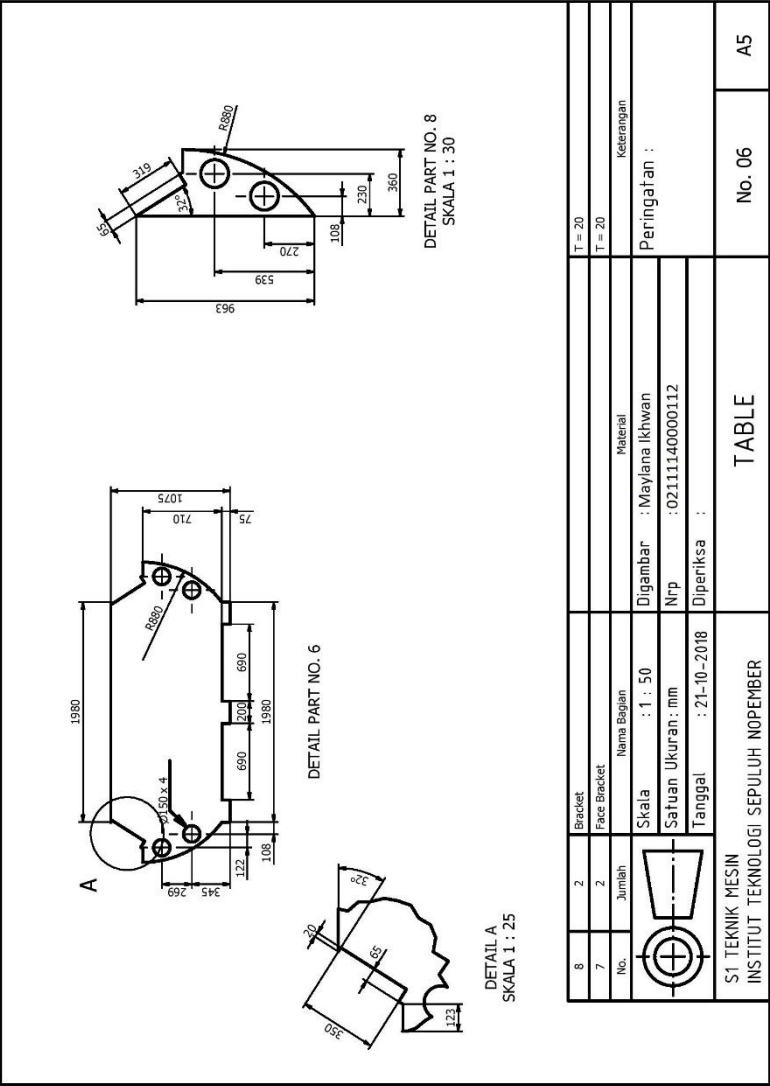
Gambar 6. Gambar teknik bagian 2 *laser table*



Gambar 6. Gambar teknik bagian 3 *laser table*



Gambar 7. Gambar teknik bagian 4 *laser table*



Gambar 7. Gambar teknik bagian 5 laser table

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Maylana Ikhwan dilahirkan di kota surakarta, Jawa tengah pada 20 Mei 1993 yang merupakan anak pertama dari dua bersaudara.

Penulis telah menempuh pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri rungkut menanggal 1 surabaya (1999-2005). Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 23 surabaya (2005-2008) Sekolah Menengah Atas di SMA Muhammadiyah 2 surabaya (2008-2011). Setelah itu penulis melanjutkan pendidikan di jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember sebagai mahasiswa S1 (2011-2018).

Selama 13 semester menempuh pendidikan di Teknik Mesin ITS penulis pernah mengikuti organisasi di dalam kampus. Pada Tahun 2012-2013 penulis mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Mesin sebagai staff departemen kewirausahaan, setelah itu pada tahun 2013-2014 di organisasi yang sama penulis melanjutkan sebagai Kepala Departemen kewirausahaan. Selain itu penulis juga pernah mengikuti kegiatan kepanitiaan di teknik mesin ITS yaitu *Mechanical city* pada 2013 dan 2014. Disela-sela kesibukan penulis dalam menempuh pendidikan di teknik mesin ITS penulis juga memiliki hobi olah-raga futsal.